Phys. g.
358
m-3

Phys. g. 358 m (3 ppt. Pouillet

Supplemente

zur

Ersten Auflage

von

Müller-Pouillet's

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie.

Phys. g. 358 m

Supplemente

zur

Ersten Auflage

von

Müller-Pouillet's

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie.

Von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1848.

Bayerische Staatsbibliothek München

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Den beiden ersten Auflagen meines Lehrbuchs der Physik ist eine dritte rasch gefolgt. Obgleich der Zeitraum zwischen dem Erscheinen der verschiedenen Auflagen keineswegs groß ist, so erscheint doch jede folgende so bedeutend bereichert gegen die vorhergehende, daß es vielen Besitzern der früheren Auflagen wünschenswerth seyn müßte, die späteren Zusätze allein erhalten zu können. In der That wurde sowohl die Verlagshandlung als ich selbst von verschiedenen Seiten darum angegangen, zu jeder der früheren Auflagen einen Nachtrag drucken zu lassen, welcher Alles das enthält, um welches die dritte Auflage gegen die früheren bereichert ist. Wir glaubten diesem Wunsche um so eher entsprechen zu müssen, als ja gerade den Abnehmern der beiden früheren Auflagen es zu verdanken ist, daß die dritte so bald erscheinen konnte, so daß wir also durch Herausgabe dieser Nachträge gewissermaaßen eine Pflicht gegen dieselben erfüllen.

Freiburg, im August 1848.

J. Müller.

Erster Band.

Vom Gleichgewicht und der Bewegung.

Schraube und Keil.

In Nro. 18 auf S. 18. u. f. wird die schiefe Ebene besprochen, an den Schluß dieser Nummer auf S. 20 ist Folgendes über die praktische Anwendung der schiefen Ebene beizufügen:

Praktische Anwendungen der schiefen Ebene kommen täglich vor. Jeder Weg, welcher eine Anhöhe hinaufführt, ist eine schiefe Ebene, auf welcher Lasten von dem Thal bis zu dem Gipfel gehoben werden; um z. B. einen Lastwagen auf einer geneigten Chaussee aufwärts zu ziehen, muß außer der Kraft, welche nöthig ist, um die Reibung zu überwinden, die gerade ebenso auch bei ganz horizontalen Wegen überwunden werden muß, noch eine Kraft angewandt werden, um dem mit der schiefen Ebene parallel wirkenden Antheil der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten. Dieser Antheil ist aber um so größer, je steiler der Weg ist. Aus diesem Grunde führt man an steilen Bergen die Chausseen nicht geradeaus, sondern man zieht vor, große Umwege zu machen und den Weg in Windungen, die weniger steil sind, auf den Gipfel zu führen. Bei Bauten aller Art kommt es häufig vor, daß die Materialien auf schiefen Ebenen in die Höhe geschafft werden, ja häufig werden solche schiefe Ebenen auf besonders zu diesem Zweck aufgeschlagenen Gerüsten (Laufbrücken) angelegt. Diese Anwendung der schiefen Ebene war schon im grauen Alterthum bekannt, denn höchst wahrscheinlich bedienten sich ihrer die Aegyptier, um die ungeheuren Steinblöcke in die Höhe zu schaffen, welche sie zu ihren Pyramiden verwendeten.

Die Schraube ist eine um einen Cylinder herumgewundene schiefe Ebene.

Fig. 1.

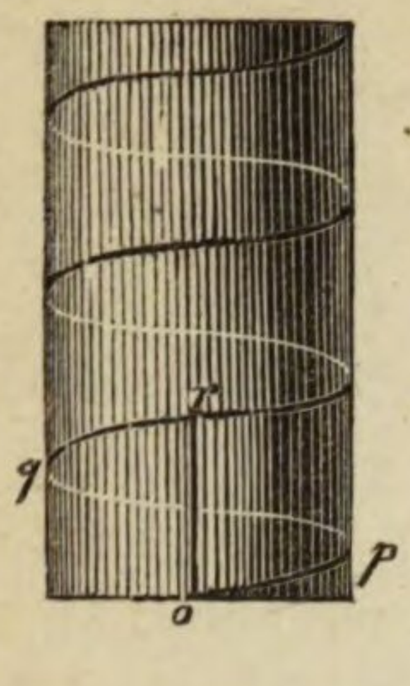
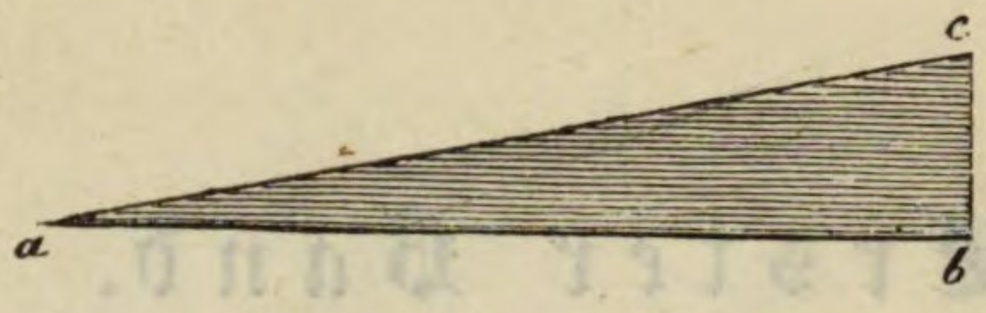


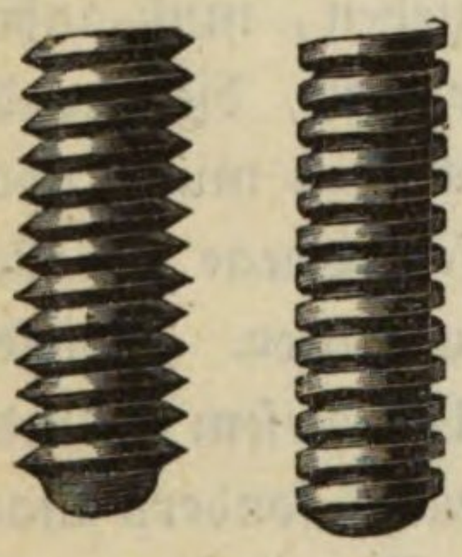
Fig. 2.



Es sei *abc*, Fig. 2, ein rechtwinkliges Stück Papier, dessen horizontale Kathete *ab* dem Umfang des nebenstehenden Cylinders, Fig. 1, gleich ist. Wenn das Papier so um den Cylinder gerollt wird, daß *ab* die Peripherie der Grundfläche des Cylinders bildet, so wird sich die Hypotenuse *ac* in einer gleichförmig steigenden krummen Linie *opqr* um den Cylinder winden; wenn der Punkt *a* auf *o* fällt, so wird auch *b* mit *o* zusammenfallen, der Punkt *c* aber wird vertikal über *o* in *r* zu liegen kommen. Die krumme Linie *opqr* nun, welche in unserer Figur nach demselben Gesetze fortgesetzt gezeichnet ist, wird eine Schraubenlinie genannt. Die auf die hintere Seite des Cylinders fallenden Stücke der Schraubenlinie sind in unserer Figur weiß. Die Höhe von *o* bis *r* ist die Höhe eines Schraubenganges.

Denken wir uns an der Schraubenlinie um den Cylinder ein Dreieck fortgeführt, welches die Höhe eines Schraubenganges hat, so entsteht ein sogenanntes scharfes Schraubengewinde, wie ein solches in Fig. 3 dargestellt ist; denkt man sich aber ein Viereck, dessen Höhe gewöhnlich halb so groß ist als die Höhe eines Schraubenganges, auf dieselbe Weise um den Cylinder geführt, so entsteht ein flaches Schraubengewinde; ein solches ist Fig. 4. dargestellt.

Fig. 3. Fig. 4.



Wir haben bisher solche Schraubengewinde betrachtet, welche um einen soliden Cylinder herumgelegt sind; Schrauben, welche auf diese Weise gebildet sind, werden Schraubenspindeln genannt; werden aber die Gewinde auf dieselbe Weise um einen hohlen Cylinder herumgeführt, so entsteht eine Schraubenmutter.

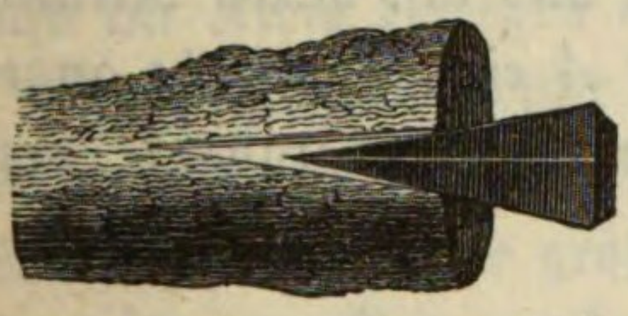
Eine Schraubenspindel ist für sich allein zum Fortschieben oder Heben einer Last, oder um einen starken Druck auszuüben, nicht zu gebrauchen; sie muß mit einer solchen Schraubenmutter so verbunden seyn, daß die Erhabenheiten der einen genau in die Vertiefungen der andern passen. Denken wir uns die Schraubenspindel fest und vertikal gestellt, so wird die Schraubenmutter bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Schrauben-

ganges auf- oder niedergehen, indem die Windungen der Schraubenmutter auf den Windungen der Schraubenspindel wie auf einer schiefen Ebene auf- und niedergleiten. Sollte eine auf der Schraubenmutter liegende Last durch Umdrehung derselben um die Schraubenspindel gehoben werden, so ist klar, daß hier dieselben Principien gelten, wie bei einer schiefen Ebene von gleicher Steigung. Die Windungen der Schraube sind um so weniger steil, je kleiner die Höhe eines Schraubenganges im Vergleich zum Umfang der Spindel ist.

Die Schraube wird theils gebraucht, um große Lasten zu heben, theils um einen großen Druck auszuüben; der zu überwindende Widerstand ist bald an der Schraubenspindel, bald an der Schraubenmutter angebracht. Um den Effect einer Schraube richtig zu berechnen, darf man die Reibung nicht außer Acht lassen, die hier eine große Rolle spielt, wie wir später noch sehen werden. Um aus der Schraube eine kräftige Maschine zu machen, läßt man die Kraft, welche die Umdrehung bewirkt, nicht direct am Umfang der Schraube, sondern an einem größern Hebelarm wirken, wie man dies an allen Schraubenpressen sehen kann.

Der Keil. Eine andere Form, in welcher die schiefe Ebene zur Anwendung kommt, ist der Keil; er wird gebraucht, um Holz- und Steinmassen zu spalten, Fig. 5; dadurch, daß man Keile unter die Kiele der Schiffe treibt, werden sie auf die Werften gehoben; das Auspressen des Oels aus dem zerriebenen Saamen wird gewöhnlich durch Eintreiben von Keilen bewerkstelligt u. s. w. Alle unsere Schneidewerkzeuge, Messer, Scheeren, Meißel u. s. w. sind nichts anderes als Keile. Daß die Wirkung des Keils sich wirklich auf die der schiefen Ebene zurückführen läßt, ist so leicht zu übersehen, daß es wohl keiner weitern Auseinandersetzung bedarf.

Fig. 5.



Die Schwungmaschine.

Der Schluß der Nro. 42 auf S. 57 ist folgendermaßen zu ergänzen:

Um Versuche über die Schwungkraft anzustellen, wird die sogenannte Schwung- oder Centrifugalmaschine angewendet; Fig. 6 (a. f. S.) stellt eine solche Schwungmaschine, wie sie Mechanikus Dechsle in Pforzheim construirt, im Aufriß, Fig. 7 (a. f. S.) stellt sie im Grundriß in $^1/_{12}$ der natürlichen Größe dar.

An dem einen Ende des Brettes *A* ist ein Schieber *B* angebracht, auf welchem ein Stehzapfen senkrecht befestigt ist, um welchen das gußeiserne

Schwungrad *C* sich leicht in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Am andern Ende des Brettes *A* ist ein eiserner Kloben *D* aufgeschraubt, der das

Fig. 6.

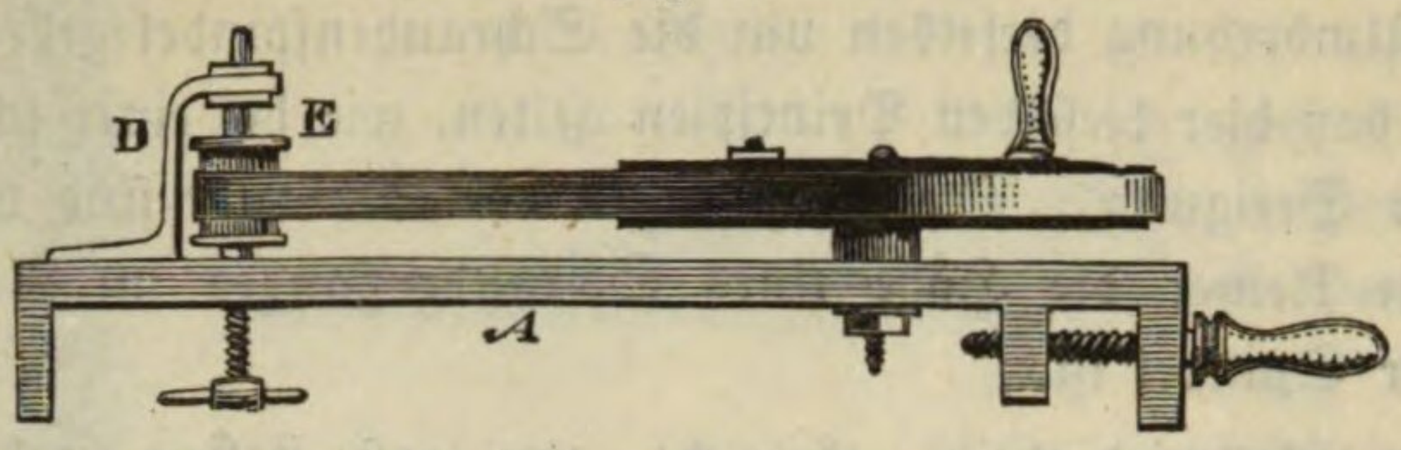
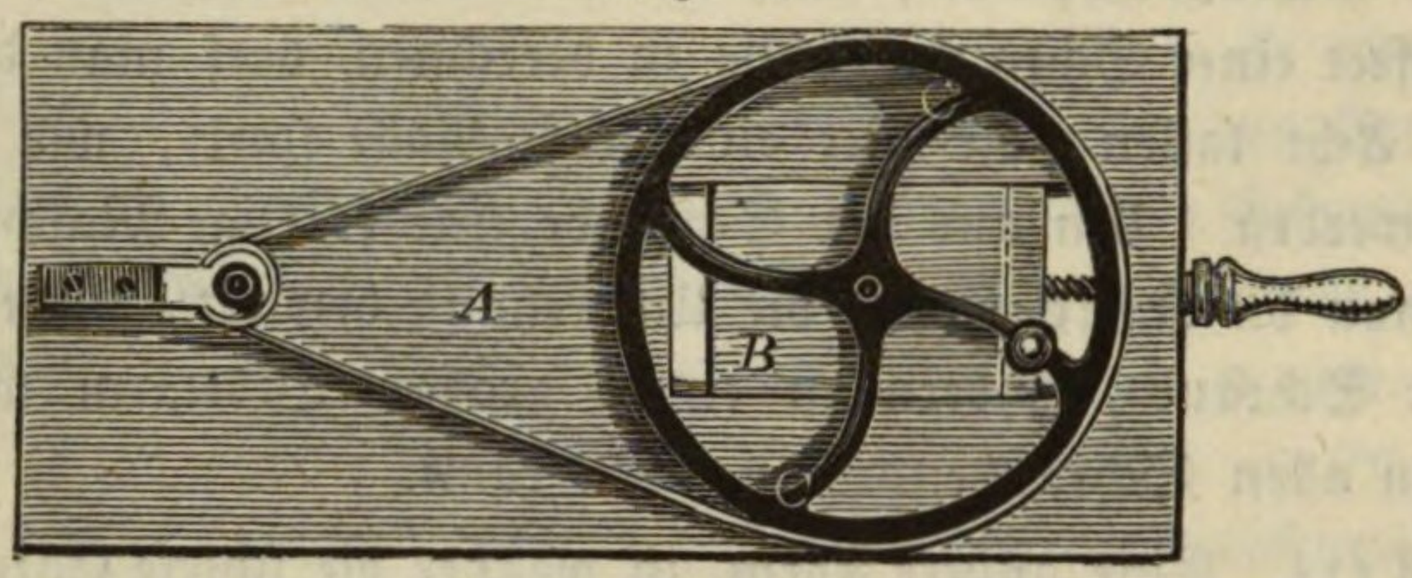


Fig. 7.



obere Ende der vertikalen Axe *E* festhält. Die Axe *E* steht durch einen Riemen mit dem Schwungrad *C* in Verbindung, und um diesen Riemen spannen zu können, ist an dem Ende des Brettes *A* eine Schraube angebracht, mittelst welcher der Schieber *B* sammt dem Schwungrade *C* von der Axe *E* entfernt werden kann.

Die vertikale Axe *E* hat an ihrem oberen Ende einen nur wenig konischen Zapfen, auf welchen die zu verschiedenen Versuchen dienenden Apparate aufgesetzt werden; es ist nicht nöthig, daß diese Vorrichtungen durch einen Querstift befestigt werden.

Der Riemen geht nicht direkt um die eiserne Axe *E*, sondern um eine an ihr befestigte hölzerne Rolle, da jedoch der Umfang dieser Rolle viel kleiner ist als der Umfang des Schwungrades, so macht auch die Rolle mit der Axe *E* in gleichen Zeiten so viel mal mehr Umdrehungen als das Schwungrad, als der Durchmesser der Rolle kleiner ist als der Durchmesser des Rades. Wäre z. B. der Durchmesser des Rades 10mal so groß als der der Rolle, so würde die Axe *E* 10 Umdrehungen machen, während das Schwungrad nur eine macht, es ist also leicht, die Axe *E* in eine sehr rasche Rotation zu versetzen.

Mit einer solchen Maschine lassen sich viele Versuche anstellen, welche zur Erläuterung der Gesetze von der Schwungkraft dienen. Wir wollen die wichtigsten dieser Versuche näher betrachten.

In Fig. 8 sey *a* die Hülse, welche auf das obere konische Ende der Axe *E* Fig. 7. aufgesetzt wird; auf *a* ist ein horizontales schmales Brett befestigt, an dessen Enden sich zwei kurze vertikale Arme befinden, zwischen denen ein dünnes Metallstäbchen oder ein Metalldraht ausgespannt ist. Dieser Metalldraht geht durch zwei Kugeln von Holz oder Elfenbein hindurch, welche durch zwei Schnüre mit einander verbunden sind, so daß die Entfernung beider Kugeln von einander stets dieselbe ist, sobald die Schnüre angespannt sind. Das Loch in den Kugeln muß so groß sein, daß sich die Kugeln mit der größten Leichtigkeit auf dem Drahte verschieben lassen. Nehmen wir an, die Kugeln seyen ungefähr so gestellt, wie es die Figur zeigt, so würden sie, wenn der Apparat in Rotation versetzt wird, sich von der Mitte des Drahtes entfernend nach beiden Seiten auseinanderfahren und an den Endbrettchen anschlagen, wenn es die Schnur nicht verhinderte. Da nun die Kugeln aus einander fahren können, so wird diejenige, für welche die Schwungkraft stärker ist, die andere nach sich ziehen. Wenn nun aber die Kugeln gerade so gestellt sind, daß die Schwungkraft für beide gleich ist, so werden sie sich nicht von der Umdrehungsaxe entfernen können und sich also im Kreis bewegen müssen, ohne an den Endplatten hinzufahren.

Fig. 8.

Dieses Gleichgewicht findet dann Statt, wenn sich die Entfernungen beider Kugeln von der Mitte des Drahtes umgekehrt verhalten wie ihre Massen. Wäre die größere Kugel 2, 3, 4mal so schwer als die andere, so müßte die kleinere Kugel 2, 3, 4mal so weit von der Umdrehungsaxe, also von der Mitte des Drahts entfernt seyn.

Dieser Versuch beweis't, daß die Schwungkraft im Verhältniß des Halbmessers der Bahn wächst, und daß sie der Masse proportional ist.

Daß sich die Schwungkraft unter übrigens gleichen Umständen umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Umlaufszeit, daß sie also bei 2, 3, 4mal so großer Umlaufszeit 4, 9, 16mal größer wird, läßt sich folgendermaßen zeigen. Auf einem Brette, welches man Fig. 9. im Aufriß, Fig. 10 im Grundriß sieht, und welches wie der vorige Apparat vermitelst der Hülse *a* auf die Schwungmaschine aufgesetzt wird, sind ebenfalls auf beiden Seiten Endplatten befestigt, zwischen denen ein Metallstab *ef* befestigt ist, auf welchem sich eine Kugel von schwerem Holz, von Elfenbein oder Metall sich leicht ver-

Fig. 9.

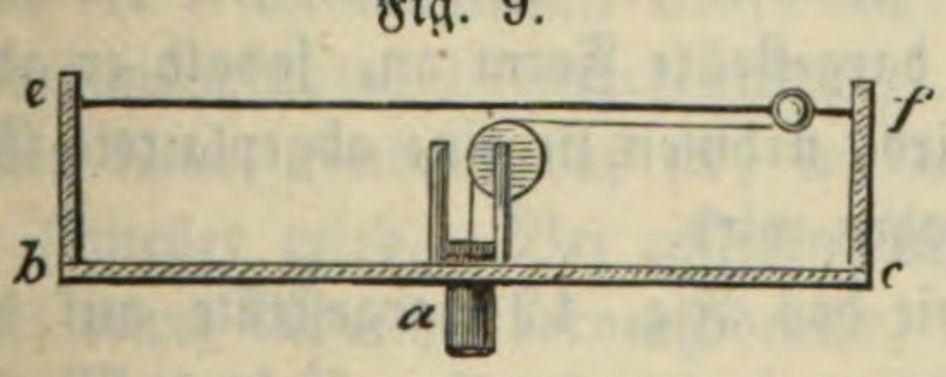
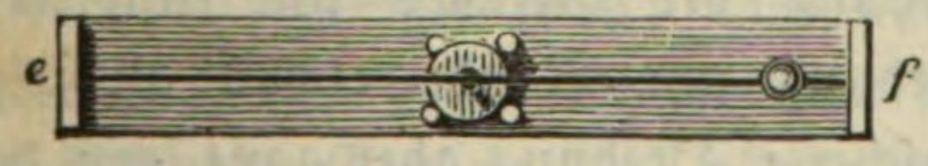


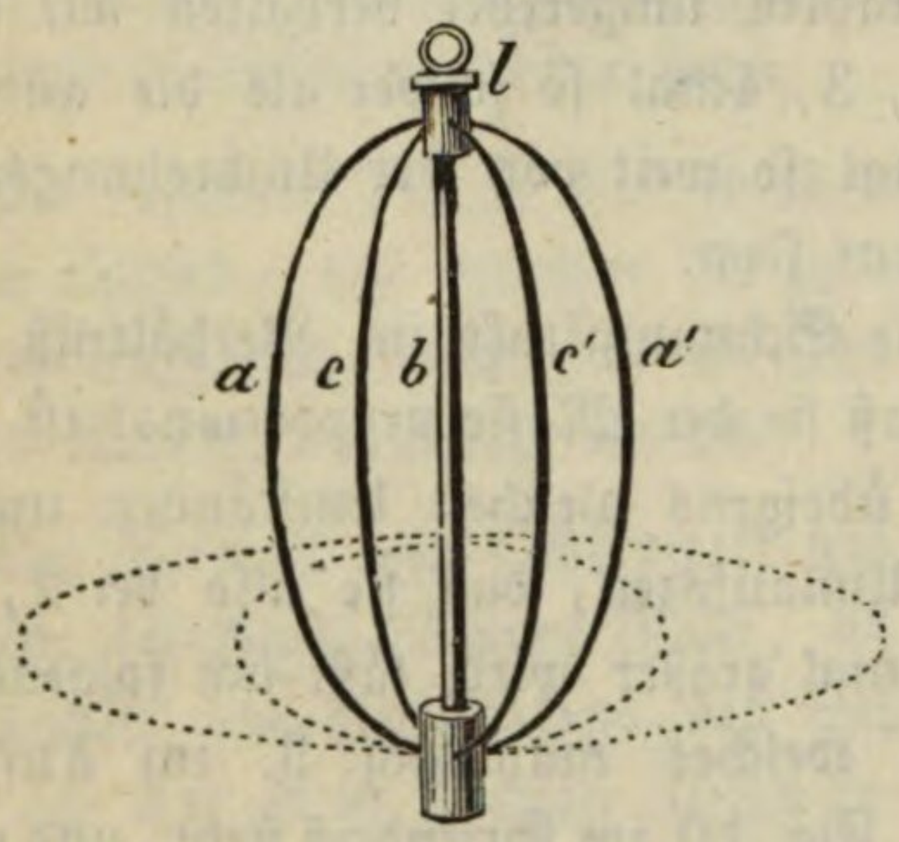
Fig. 10.



schieben läßt. An dieser Kugel ist eine Schnur befestigt, die über eine Rolle geht und an der gerade in der Mitte des Apparates ein Gewicht zwischen 4 Säulchen hängt, welche seine vertikale Bewegung sichern. Dieses Gewicht besteht aus einer Metallplatte, in deren Mitte ein Stäbchen sich befindet, an welchem oben die Schnur angeknüpft ist. Auf diese Platte können mehrere eingeschlitzte Metallplatten gelegt werden, deren jede so viel wiegt als die untere Platte sammt dem Stäbchen. Sobald der Apparat in Rotation versetzt wird, erhält die Kugel ein Bestreben, von der Mitte nach *f* hinzufahren; bei hinlänglich rascher Drehung findet diese Bewegung wirklich Statt, und das Gewicht wird durch die Schwungkraft der Kugel gehoben; bei gehöriger Umdrehungsgeschwindigkeit hält die Schwungkraft der Kugel dem Gewichte genau das Gleichgewicht, letzteres wird alsdann gerade schwebend erhalten; ist die Schwungkraft zu groß, so schlägt die Kugel bei *f* an, wird sie zu klein, so fällt das Gewicht wieder herab. Nehmen wir an, daß bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit die Schwungkraft der Kugel gerade die Platte mit ihren Stäbchen schwebend erhalten kann, ohne daß die Kugel immer bei *f* anschlägt, so wird bei doppelter Umdrehungsgeschwindigkeit ein 4faches Gewicht schwebend erhalten, man hat also für diesen Fall auf die untere Platte noch 3 Gewichtsplatten aufzulegen.

Der in Fig. 11 abgebildete Apparat dient, um zu erläutern, wie die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist.

Fig. 11.

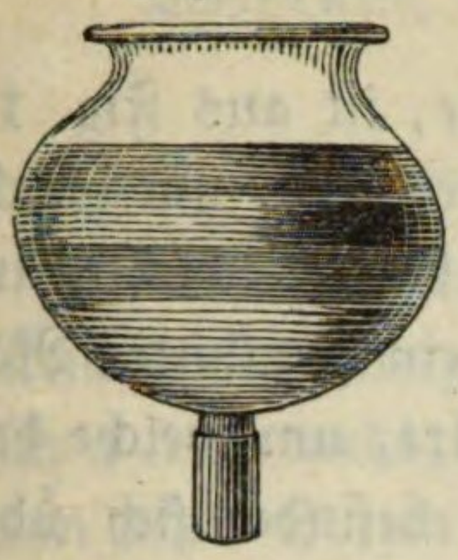


An dem unteren Ende der eisernen Axe *b*, welche auf die Schwungmaschine aufgesetzt wird, sind mehrere elastische Streifen *a a'* und *c c'* von Messingblech befestigt, die oben wieder an einer Hülse *l* zusammenlaufen, welche leicht an der Axe *b* hin- und hergeschoben werden kann. Wenn der Apparat in Ruhe ist, nehmen die Metallstreifen vermöge ihrer Elasticität die in unserer Figur dargestellte Form an, sobald er aber in Rotation um die Axe *b* versetzt wird, nehmen sie eine abgeplattete Gestalt an, indem die Hülse *l* niedergezogen wird.

Befestigt man ein Glasgefäß, wie das Fig. 12 dargestellte auf der Axe *E* der Schwungmaschine, gießt man dann etwas gefärbtes Wasser hinein, so sieht man bei der Umdrehung des Gefäßes um seine Axe, wie das Wasser bei langsamer Drehung am Rande etwas aufsteigt, sich in die Mitte also aushöhlt, bei rascherer Drehung aber ganz von dem

Boden wegfliegt, um in dem Bauch des Gefäßes einen Ring zu bilden.

Fig. 12.



Befindet sich außer dem farbigen Wasser auch noch Queckſilber in dem Gefäße, ſo wird auch dieſes in Folge der Schwungkraft in die Höhe ſteigen und einen metallglänzenden Ring an die äußerſte Stelle des Bauches des Gefäßes bilden, welcher zu beiden Seiten von dem dunkelfarbigen Ring des gefärbten Waſſers eingefaßt erſcheint. Dieſer Verſuch zeigt, daß das ſchwerere Queckſilber doch noch mit größerer Gewalt durch die Schwungkraft von der Umdrehungsaxe fortgeſchleudert wird, daß alſo die Schwungkraft mit der Maſſe wächſt.

Fig. 13.

Wir ſehen in dieſem Verſuch, wie die Schwungkraft ſtark genug werden kann, um die Wirkungen der Schwere aufzuheben; es läßt ſich dies auch noch ſo zeigen.

Wenn man ein gewöhnliches Trinkglas mit einem Geflecht von Kordel umgiebt, welches in 4 oben zuſammengebundenen Schnüren endet, wie man Fig. 13. ſieht, ſo kann man, den Knoten in der Hand haltend, das mit Waſſer gefüllte Glas in vertikaler Ebene umſchwenken, ohne daß das Waſſer ausfließt, ſelbſt wenn das Glas an der oberſten Stelle ſeiner Kreisbahn ſich befindet, wo der Boden nach oben und die Oeffnung nach unten gerichtet iſt.

Aus der Schwungkraft erklärt ſich das Spritzen naſſer Räder, die Wirkung der Schleuder u. ſ. w.

Die Pendeluhr.

Die wichtigſte Anwendung, die man vom Pendel gemacht hat, iſt die Regulirung der Uhren. In jeder Uhr muß eine beſchleunigende Kraft wirken, um die Bewegung hervorzubringen und zu erhalten. Nun aber iſt aus dem, was über beſchleunigende Kräfte geſagt wurde, klar, daß, wenn der beſchleunigenden Kraft nicht eine andere gleiche Kraft oder ein Bewegungshinderniß entgegenwirkt, die Bewegung nicht gleichförmig bleiben kann, ſondern daß ſie, wie bei einem fallenden Körper, ſchneller und ſchneller wird. Bei unſeren Wanduhren wird die beſchleunigende Kraft durch Gewichte hervorgebracht, welche an einer Schnur hängen, die um eine horizontale Axe geſchlungen iſt. Wenn das Gewicht durch ſeine Schwere herabgezogen wird, wird durch die Schnur die Axe umgedreht und dadurch das ganze Uhrwerk in Bewegung geſetzt. Die Bewegung eines fallenden Gewichtes iſt aber eine beſchleunigte, folglich würde auch

die Uhr anfangs langsam, dann schneller und schneller gehen müssen, wenn ihr Gang nicht regulirt würde, und diese Regulirung wird nun durch das Pendel bewerkstelligt.

Wie das Pendel den Gang einer Uhr reguliren könne, ist aus Fig. 14 ersichtlich. An der Axe, um welche die Schnur mit dem Gewichte angebracht ist, ist ein gezahntes Rad befestigt. Die Axe, um welche das Pendel schwingt, befindet sich über diesem Rade, und an dieser Pendelaxe ist ein Anker *a b* befestigt, welcher, je nach der Stellung des Pendels, auf der einen oder andern Seite in die Zähne des Rades eingreift. Die Figur stellt das Pendel gerade in der Lage vor, wo es seine äußerste Stellung links hat. Das Rad, welches durch das Gewicht in der Richtung des Pfeils gedreht wird, kann aber nicht vorangehen, weil der Zahn 1 durch den Zahn *b* des Ankers aufgehalten wird; sobald aber das Pendel zurückgeht, geht *b* in die Höhe, der Zahn 1 wird nun vorbeigelassen, die Bewegung des Rades wird aber doch alsbald wieder gehemmt, weil nun auf der andern Seite der Zahn *a* des Ankers niedergeht und an diesen dann der Zahn 2 des Rades anstößt, so kann also das Rad bei jedem Hingange um einen, und bei jedem Hergange abermals um einen Zahn weiter gehen, die Bewegung des Rades wird also durch die Schwingungen des Pendels regulirt.

Fig. 14.

Eine solche Vorrichtung nennt man eine **Hemmung** oder ein **Echappement**.

Bei Taschenuhren ist das Gewicht durch eine gespannte Stahlfeder, das Pendel aber durch die Unruhe, d. h. durch eine feine, vermöge ihrer Elasticität um ihre Gleichgewichtslage schwingende Feder ersetzt.

Wirkung des Luftdrucks auf den menschlichen Körper.

Zu Seite 118.

Der menschliche Körper ist so gut wie jeder andere dem Drucke der Atmosphäre ausgesetzt, und da die Oberfläche eines ausgewachsenen Menschen weit mehr als ein Quadratmeter beträgt, so ist der Totaldruck, der von allen Seiten her gleichförmig vertheilt gegen den Körper wirkt, allerdings sehr bedeutend, er beträgt 30- bis 40tausend Pfund.

Das scheint für den ersten Anblick allerdings unglaublich, und es giebt viele, selbst gebildete und geistreiche Leute, welche eine solche Behauptung für baaren Unsinn halten, welche die ganze Lehre vom Luftdrucke als falsch verwerfen, weil sie solchen, ihrer Ansicht nach ganz absurden Folgerungen führt. Drieberg, welcher erst kürzlich ein Werkchen gegen den Luftdruck schrieb, sagt in seiner Vorrede: »Nach dem weisen Rathschlusse der Physikbeflissenen müssen wir armen Creaturen uns bekanntlich mit einer Luftlast von 30- bis 40tausend Pfund herumschleppen, und selbst die Elßler, wenn sie auf der großen Zehe steht, trägt ihre 30tausend Pfündchen u. s. w.

Eine solche Ausdrucksweise zeigt schon ein Mißverstehen der Lehre vom Luftdrucke, denn da er ja gleichmäßig von allen Seiten, also von oben und unten, von vorn und hinten, von der rechten und linken Seite wirkt, so kann hier weder von einem »Schleppen«, noch von einem »Tragen« die Rede seyn, solche Ausdrücke sind nur auf einen einseitigen Druck anwendbar.

Aber man könnte einwenden, wenn ein so starker Druck auch ganz gleichförmig und von allen Seiten her gegen den Körper wirkt, so müßte er ja den Körper in sich selbst zusammenpressen, er müßte ihn zermalmen!

Was soll aber zermalmt werden? Das Knochengerüst? es könnte noch einen weit stärkern Druck aushalten; die mit Flüssigkeiten und Luft gefüllten Gefäße und Höhlungen des Körpers? Die im Körper befindliche Luft ist von gleicher Dichtigkeit mit der äußeren, sie kann also durch den Luftdruck nicht weiter comprimirt werden; daß aber die im Körper enthaltenen Flüssigkeiten nicht zerdrückt werden können, versteht sich von selbst.

Es bleibt demnach nur noch etwa der Zweifel zu heben übrig, ob nicht die zarten Häutchen und Gewebe, welche die Hüllen der einzelnen Gefäßchen bilden, durch einen so starken Druck Noth leiden müßten. Von einem Zerreißen der zarten Gewebe kann aber keine Rede seyn, weil der Druck gleichmäßig von beiden Seiten wirkt; um aber die Häutchen etwa

zu zerquetschen, ist der Druck nicht stark genug. Da es sich hier nur um kleine Gefäßchen handelt, so kommt auch nur der Druck in Betracht, der auf die kleine Oberfläche derselben wirkt; aus der obigen Tabelle aber kann man entnehmen, daß der Luftdruck auf eine 1 Quadr.-Centim. (ungefähr 20 Quadratlinien) große Oberfläche nur 1 Kilogr. (2 Pfund), auf 1 Quadr.-Millim. (ungefähr $^2/_{10}$ Quadratlinien) aber nur 1 Centigr. (ungef. $^3/_5$ Lth) beträgt.

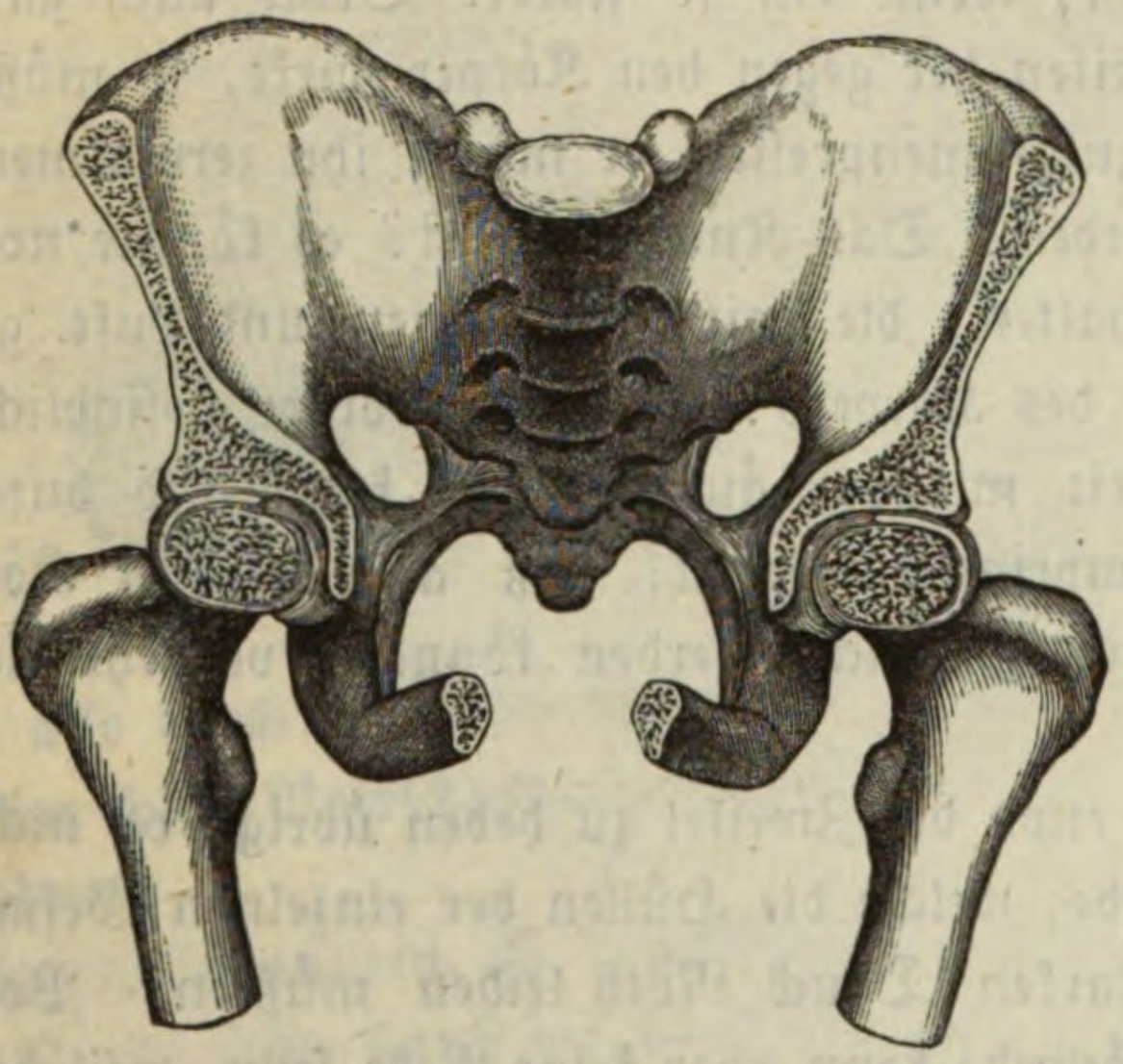
Wenn man die Sache auf diese Weise betrachtet, so fällt alles Auffallende und Unbegreifliche weg. Die Lehre vom Luftdrucke, der auf den menschlichen Körper wirkt, erhält nur dadurch etwas Paradoxes, daß man durch die Summation der Pressungen, welche auf die einzelnen Theilchen wirken, enorme Zahlen erhält, während doch jedes einzelne Theilchen für sich mit dem Luftdrucke im Gleichgewichte steht, und nicht der Totaldruck einseitig gegen eine Stelle des Körpers wirkt.

Wenn man den Luftdruck von irgend einer Stelle des Körpers entweder mit Hülfe eines Schröpfkopfes oder einer Luftpumpe wegnimmt, so wird der Inhalt der Gefäßchen ein Bestreben geltend machen, sich auszudehnen.

Wie wichtig der Luftdruck für die Oekonomie der Kräfte des menschlichen Körpers ist, haben die classischen Untersuchungen der Gebrüder Weber gezeigt.

Betrachtet man das Knochengerüste des menschlichen Körpers, so findet man an jeder Seite des Beckens eine spiegelglatte, mit einer schlüpferigen Flüssigkeit benetzte Vertiefung, die Pfanne, in welche der kugelförmige Kopf des Schenkelknochens genau hineinpaßt, wie man dies Fig. 15 deutlich sehen kann, welche das Becken mit den Schenkelknochen darstellt.

Fig. 15.



Der vordere Theil des Beckens und der beiden Schenkelköpfe ist durch einen senkrechten Schnitt weggenommen, damit man besser sehen kann, wie die Schenkelköpfe in den Pfannen sitzen; da sich nun der Schenkelkopf in der Pfanne nach allen Seiten leicht drehen läßt, so begreift man, daß das Bein nach allen Seiten hin beweglich ist.

Das ganze Gelenk ist durch eine Kapselmembran eingehüllt, welche,

das Becken mit dem Schenkelkopf verbindend, an dem knöchernen Pfannenrande und am Halse des Schenkelkopfs angewachsen ist.

Wenn man auf einem Beine steht und das andere nur so viel krümmt, daß es hängt, ohne den Boden zu berühren, so kann man mit ungemein geringer Muskelanstrengung das hängende Bein hin und her schwingen lassen. Während das Bein so schwingt, sind die Muskeln, welche das Becken mit dem Schenkelbeine verbinden, ganz schlaff, und daraus schon geht hervor, daß diese Muskeln es nicht seyn können, welche das schwebende Bein tragen. Die Gebrüder Weber haben dies auch durch den Versuch nachgewiesen, indem sie an einem Leichname alle Muskeln durchschnitten, welche den Schenkel mit dem Becken verbinden. Das frei schwebende Bein fiel nicht herab, wie es der Fall gewesen wäre, wenn es im Leben durch die Muskeln getragen würde.

Auch die Kapselmembran wurde durchschnitten, und das Bein fiel nicht herab.

Der Schenkelkopf wird in der luftdicht schließenden Pfanne durch den Druck der atmosphärischen Luft zurückgehalten, oder das Gewicht des Beines wird von dem Drucke, den die atmosphärische Luft auf dasselbe von unten nach oben ausübt, äquilibrirt, es bedarf also keinerlei Kraftanstrengung, um während des Gehens das eben nicht auf dem Boden stehende Bein zu tragen, obgleich das Gewicht desselben nicht unbedeutend ist.

Die Richtigkeit dieses Satzes wurde noch durch folgenden Versuch bestätigt. Es wurde durch das Becken hindurch mitten in die Pfanne ein kleines Loch gebohrt; das Bein fiel in demselben Augenblicke herab, in welchem die Spitze des Bohrers die Pfanne eben durchbrochen hatte und den Schenkelkopf noch nicht berührte. Als der Schenkelkopf nun wieder in die Pfanne hineingeschoben wurde, so daß seine Kugelfläche wieder genau mit der Kugelfläche der Pfanne in Berührung kam, und man dann das Loch im Becken mit dem Finger zuhielt, wurde das Bein auch wieder durch den Luftdruck getragen; es fiel aber sogleich wieder herab, sobald man den Finger wieder von dem Loche wegnahm, so daß die Luft von oben eindringen konnte.

Die Arme werden in derselben Weise durch den Luftdruck getragen wie die Beine.

Alle Reisenden, welche sehr hohe Gebirge erstiegen haben, erzählen, daß man auf bedeutenden Höhen eine auffallende Müdigkeit verspüre, welche den Wanderer nöthigt, oft sich zu setzen und auszuruhen. Diese Müdigkeit erklärt sich nun durch die bedeutende Verminderung des Luftdrucks.

Die atmosphärische Eisenbahn.

Eine höchst sinnreiche Anwendung des Drucks der atmosphärischen Luft gegen einen luftverdünnten Raum, welche gegenwärtig die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zieht, ist die sogenannte atmosphärische Eisenbahn.

In der Mitte zwischen den Schienen der Bahn läuft nämlich ihrer ganzen Länge nach eine gußeiserne Röhre her. In dieser Röhre befindet sich ein luftdicht schließender Kolben, so daß, wenn auf der einen Seite desselben die Luft aus der Röhre ausgepumpt wird, der auf der andern Seite dieses Kolbens wirkende Druck der Luft ihn forttreibt.

Das Auspumpen der Luft aus der Röhre geschieht durch eine stehende Dampfmaschine.

Der Kolben, welcher durch den Druck der atmosphärischen Luft fortgetrieben wird, zieht nun die Wagen nach sich.

Dies wird dadurch möglich, daß der Kolben mit dem ersten Wagen durch einen Verbindungsarm zusammenhängt. Um diesen Verbindungsarm durchzulassen, ist aber die Treibröhre oben aufgeschlitzt und der Schlitz durch Lederklappen luftdicht verschlossen. Diese Klappen werden hinter dem Kolben geöffnet, um den Verbindungsarm durchzulassen, nachdem dieser aber passirt ist, werden sie wieder geschlossen.

Die Figuren 16, 17 und 18 werden wohl das Princip dieser Construction anschaulich machen. Fig. 16 stellt einen Querdurchschnitt der Bahn mit Treibröhre vor; man sieht, wie die Röhre in der Mitte zwischen den Schienen liegt, man sieht, wie sie oben offen ist. Die Lederklappe, welche den Schlitz bedecken soll, ist in unserer Zeichnung gerade in dem Momente dargestellt, wo sie gehoben ist, um den Verbindungsarm *d* durchzulassen; sie ist oben und unten mit Eisen beschlagen, damit sie von selbst niederfällt, wenn sie nicht in die Höhe gehalten wird.

Die gußeiserne Treibröhre hat 1′ 4″ Durchmesser, jedes Stück derselben ist 7 Fuß lang; sie ist innen mit einer $\frac{1}{2}$ Linie dicken Schicht von Wachs und Talg überzogen, um die Unebenheiten des Gusses auszugleichen und die Bewegung des Kolbens zu erleichtern. Fig. 17 stellt den Querdurchschnitt der Röhre dar, wie der Schlitz derselben durch die Klappe bedeckt ist.

Die Einrichtung des Kolbens und wie er mit dem Wagen zusammenhängt, ist aus dem Längendurchschnitte Fig. 18. zu ersehen. An einem gußeisernen Cylinder *k* sind zwei Lederstulpen befestigt, welche, wenn auf der vorderen Seite des Kolbens ein verdünnter Raum erzeugt wird, durch den auf der andern Seite wirkenden Luftdruck fest gegen die Cylinderwände angepreßt werden, so daß auf diese Weise der Kolben stets luftdicht schließt.

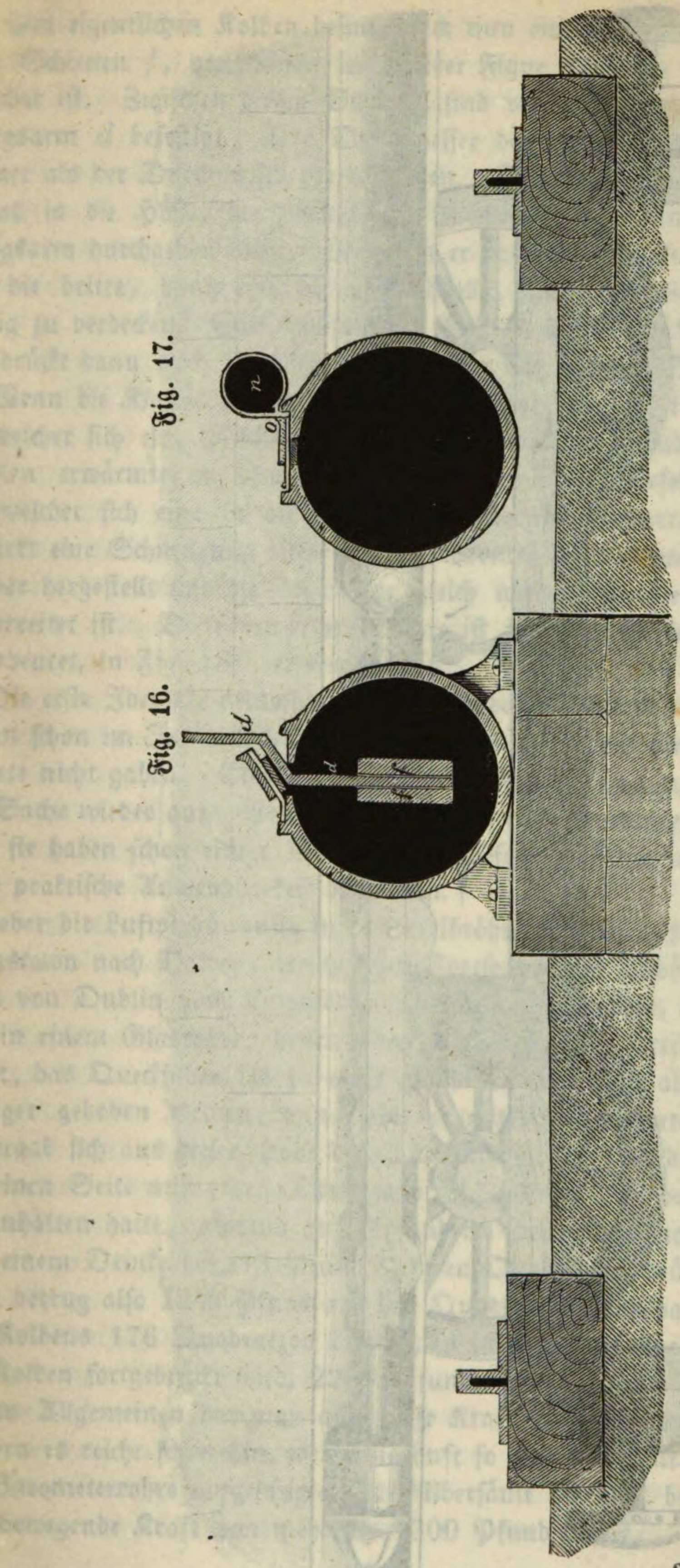


Fig. 16. Fig. 17.

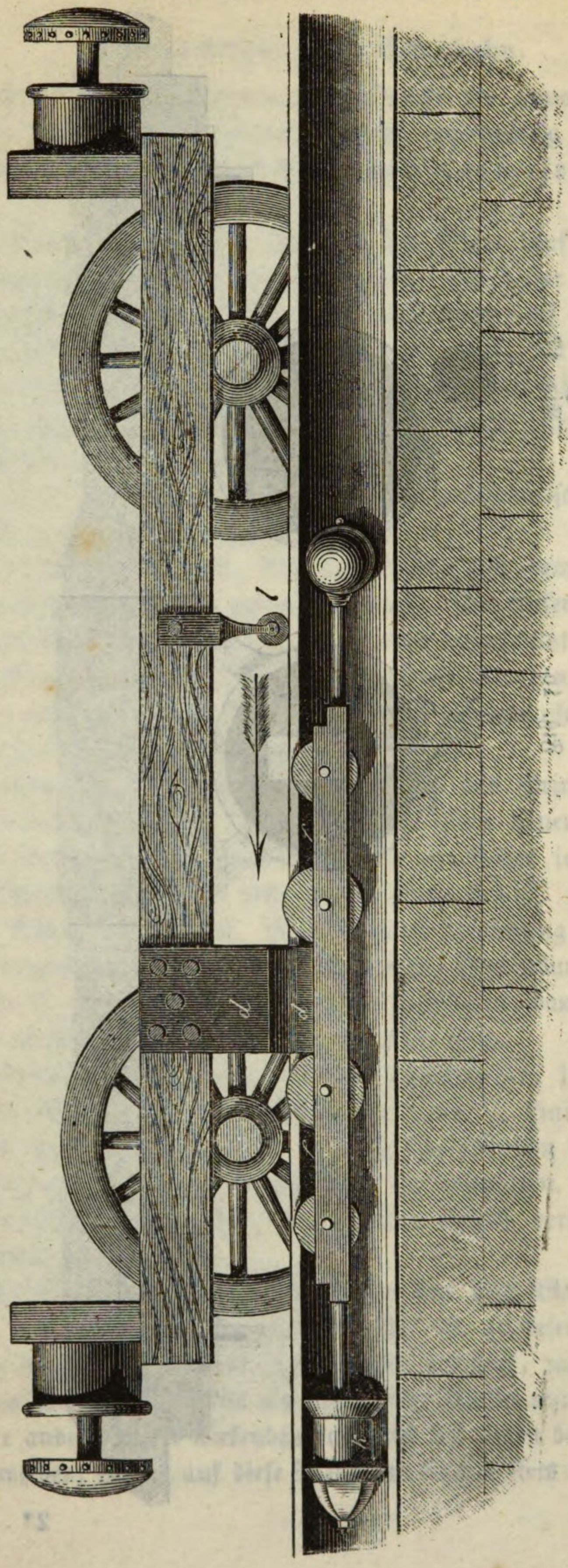


Fig. 18.

An dem eigentlichen Kolben befindet sich nun eine Stange mit zwei eisernen Schienen *f*, von denen in unserer Figur natürlich nur die vordere sichtbar ist. Zwischen diesen Schienen sind vier Rollen und der Verbindungsarm *d* befestigt. Der Durchmesser der beiden äußeren Rollen ist kleiner als der Durchmesser der mittleren. Die erste Rolle hebt die Klappe etwas in die Höhe, die zweite hebt sie weiter, so daß nun der Verbindungsarm durchgehen kann. Nachdem er passirt ist, senkt sich die Klappe auf die dritte, dann auf die vierte Rolle, um dann wieder den Schlitz völlig zu verdecken. Eine nachfolgende Rolle *l*, welche am Wagen befestigt ist, drückt dann noch die Klappe von außen fest auf den Schlitz.

Wenn die Klappe aufliegt, so bildet sich bei *o*, Fig. 17, eine Rinne, in welcher sich eine Mischung von Wachs und Talg befindet; eine durch Kohlen erwärmte an dem Wagen hinter der Rolle *l* befestigte Röhre *n*, an welcher sich eine in die Rinne herabreichende Hervorragung befindet, bewirkt eine Schmelzung dieser Masse, wodurch der vollkommne Verschluß wieder hergestellt und die Treibröhre gleich wieder für die nächste Fahrt vorbereitet ist. Diese erwärmte Röhre ist in Fig. 17 im Durchschnitt angedeutet, in Fig. 18 aber weggelassen.

Die erste Idee der atmosphärischen Eisenbahn rührt von Pinkus her, dessen schon im Jahre 1834 gemachten Versuche jedoch die gehofften Resultate nicht gaben. Einige Jahre später griffen Clegg und Samuda die Sache wieder auf. Von ihnen rührt die eben angedeutete Construction her; sie haben schon einige Bahnen nach diesem Systeme ausgeführt und seine praktische Anwendbarkeit dargethan.

Ueber die Luftverdünnung in der Treibröhre wurden auf der Bahn von Kingstown nach Dalbey, welche eine Fortsetzung der gewöhnlichen Eisenbahn von Dublin nach Kingstown ist, Versuche angestellt, welche ergaben, daß in einem Glasrohre, dessen oberes Ende mit der Treibröhre communicirt, das Queckſilber bis zu einer Höhe von 25 Zoll, also nur 3 Zoll weniger gehoben werden kann, als der mittlere Barometerstand beträgt. Es ergab sich aus dieser Höhe der Queckſilbersäule, daß der Kolben auf der einen Seite nur einen Druck von $2\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll auszuhalten hatte, während auf der andern Seite die atmosphärische Luft mit einem Drucke von 15 Pfund auf den Quadratzoll drückt; die Triebkraft betrug also $12\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll, und da die Oberfläche des Kolbens 176 Quadratzoll beträgt, so ist die ganze Kraft, mit welcher der Kolben fortgedrückt wird, 2200 Pfund.

Im Allgemeinen hat man aber diese Kraft zum Fahren nicht nöthig, sondern es reicht schon hin, wenn die Luft so weit verdünnt wird, daß die im Barometerrohre aufgesaugte Queckſilbersäule 15 Zoll beträgt, welche eine bewegende Kraft von mehr als 1300 Pfund liefert.

Die wesentlichsten Vortheile der atmosphärischen Eisenbahn bestehen in einer größeren Sicherheit und der Möglichkeit weit bedeutendere Steigungen zu überwinden, als dies bei den gewöhnlichen Eisenbahnen irgend geschehen kann.

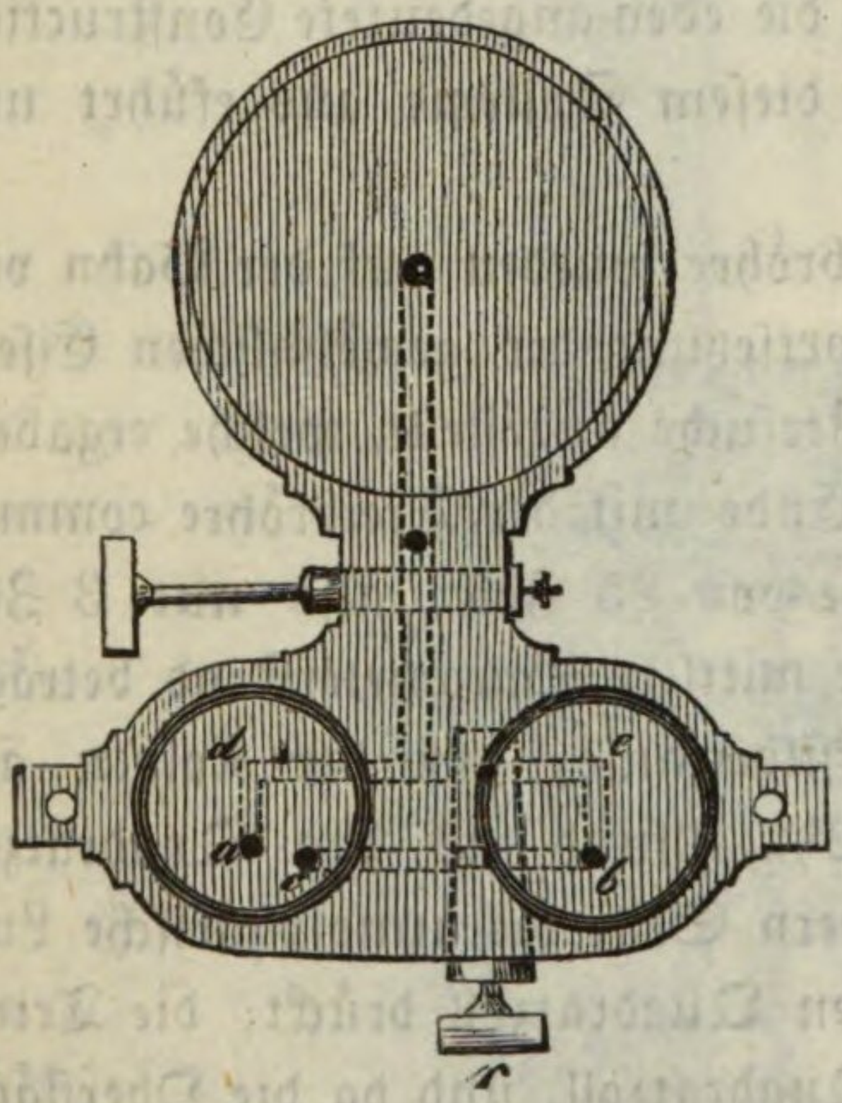
Bis jetzt sind atmosphärische Eisenbahnen nur auf kürzere Strecken ausgeführt, ob sie sich auch auf größere Entfernungen mit Vortheil anwenden lassen, ob sie in pecuniärer Hinsicht vortheilhafter sind als gewöhnliche, darüber läßt sich schwer a priori entscheiden, man muß es der Erfahrung anheimstellen.

Der Babinet'sche und der Graßmann'sche Hahn.

Die Beschreibung des Babinetschen Hahnes auf S. 134 und 135 ist nicht ganz klar; das Folgende wird die Sache deutlicher machen.

Babinet hat eine sehr sinnreiche Verbesserung erdacht, vermittelst welcher man im Stande ist, die Luftverdünnung noch weit über diese Gränze hinauszutreiben. Von dem Teller kommt ein Kanal, welcher sich in zwei Arme theilt, von welchen der eine bei *a* in den Stiefel links, der andere bei *b* in den Stiefel rechts mündet. Diese Kanäle gehören zu dem gewöhnlichen Spiele der Maschine; nun ist aber bei der Babinet'schen Einrichtung noch ein dritter Kanal vorhanden, welcher in den Cylinder rechts ebenfalls bei *b*, in den Cylinder links aber bei *c* mündet; dieser Kanal verbindet also die beiden Cylinder mit einander.

Fig. 19.



Der Hahn *r* geht nun durch den Kanal *bc* und durch *de* hindurch; er ist nach zwei Richtungen durchbohrt, welche rechtwinklig auf einander stehen; die eine der Oeffnungen im Hahn paßt auf den Kanal *de*, die andere auf *bc*; je nachdem nun der Hahn steht, ist der Kanal *de* oder *bc* unterbrochen.

In der Stellung, welche Fig. 20 zeigt, ist der Kanal *de* offen, *bc* aber unterbrochen. Dies ist die Stellung des Hahns beim gewöhnlichen Arbeiten der Maschine.

Fig. 20.

Hat die Verdünnung auf diese Weise ihre Grenze erreicht, so wird der Hahn durch eine Viertelumdrehung in die Stellung Fig. 19 gebracht; nun ist die Communication zwischen dem Stiefel rechts und dem Recipienten ganz abgeschnitten, dagegen stehen nun die beiden Cylinder in Verbindung.

Wenn der Kolben im linken Cylinder aufsteigt, so verbreitet sich die Luft aus dem Recipienten in diesen Cylinder; sobald der Kolben niederzugehen beginnt, wird *a* verschlossen; wäre nun keine Communication mit dem andern Cylinder, so würde die Luft unter dem Kolben nach und nach verdichtet, sie würde endlich das Kolbenventil heben und somit Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre im schädlichen Raume bleiben; statt dessen aber geht nun die Luft aus dem Cylinder links in den rechts über, denn wenn der Kolben im linken Cylinder niedergeht, so steigt er im rechten; auf diese Weise kann der Kolben im linken Cylinder unten ankommen, ohne daß sein Kolbenventil gehoben wird, es befindet sich unter diesem Kolben im schädlichen Raume nur sehr verdünnte Luft.

Sobald der Kolben links wieder zu steigen, der rechts niederzugehen beginnt, wird *b* verschlossen, die vorher in den Cylinder rechts getriebene Luft muß nun durch sein Kolbenventil entweichen; da sich aber nun im schädlichen Raume des andern Cylinders, welcher allein mit dem Recipienten in Verbindung kommt, nur verdünnte Luft befindet, so übt nun der schädliche Raum nicht mehr die nachtheilige Wirkung aus, wie vorher, da er noch Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre enthält.

Der Hahn bleibt nun in seiner zweiten Stellung stehen; durch das Steigen der Kolben im linken Cylinder wird die Luft aus den Recipienten gesaugt, durch seinen Niedergang wird sie in den andern Cylinder getrieben.

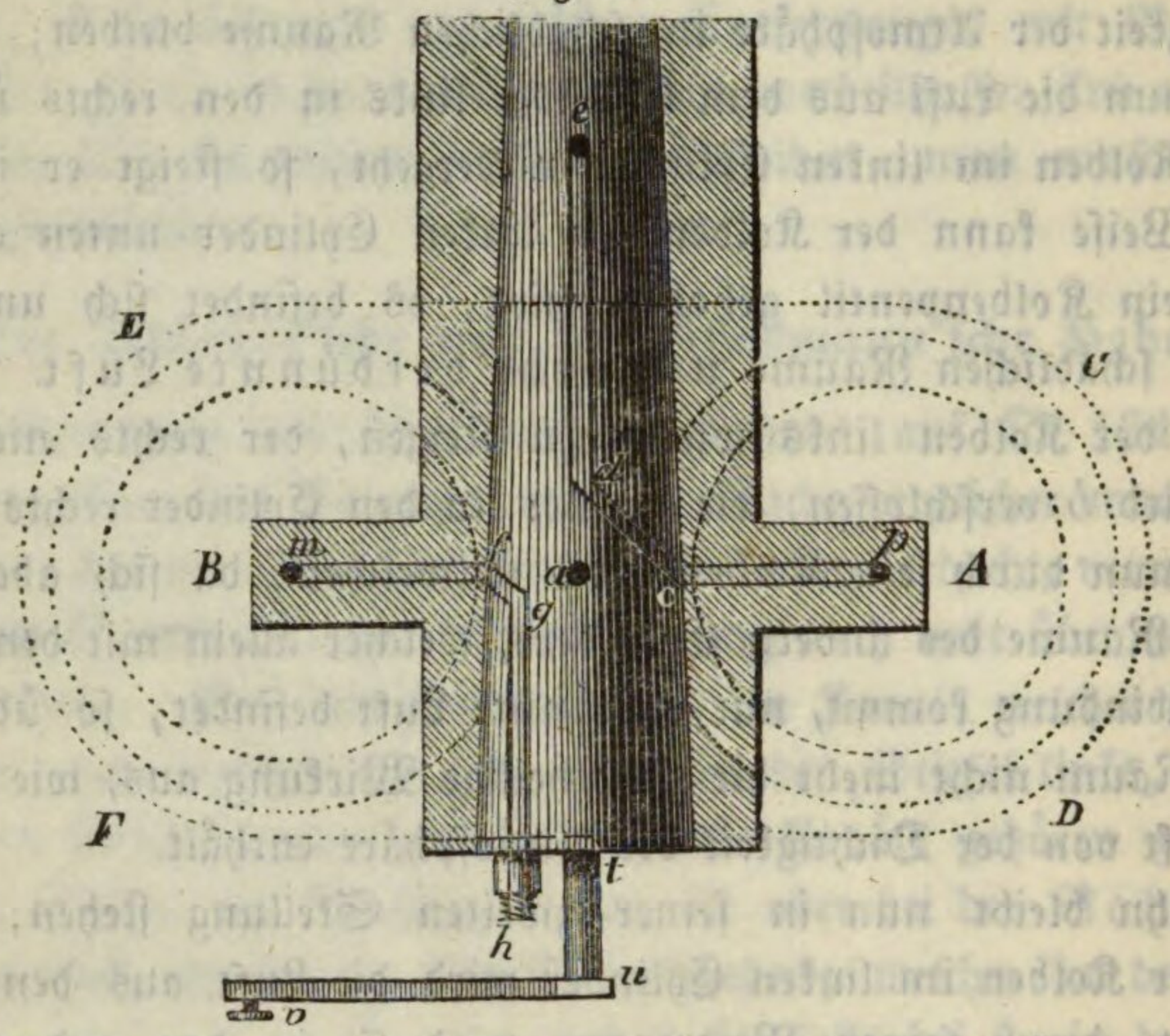
Schon im Jahre 1819 hat Professor Graßmann einen Hahn erdacht und im 65. Bande von Gilbert's Annalen beschrieben, welcher denselben Zweck auf eine sehr einfache Weise erfüllt. Nach diesem Principe sind in mehreren der ausgezeichnetsten Werkstätten von Berlin viele treffliche Luftpumpen construirt worden; trotzdem aber findet man diese Einrichtung außer dem erwähnten Bande von Gilbert's Annalen nur noch in der ersten Auflage von Mitscherlich's Lehrbuche der Chemie beschrieben.

Die Einrichtung des Hahns ist aus Fig. 21 (a. f. S.) zu ersehen. *CDEF* ist die Bodenplatte, auf welcher die Stiefel aufgesetzt sind. Vom Boden des Stiefels *A* geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann aber horizontal von *p* nach *c*, wo er an den Hahn stößt; eben so ist es auf der andern Seite; vom Boden des Stiefels *B* geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann horizontal von *m* nach *f*. Der Hahn selbst ist dreifach durchbohrt. Ein Kanal im Hahn geht bei der Stellung, welche die Figur darstellt, von *e* vertikal herunter, dann in der Richtung der Axe horizontal fort bis *d*, und dann von *d* bis *c*; ein zweiter Kanal führt von *f* nach *g* und von *g* nach *h*, ein dritter endlich erscheint in unserer Figur bei *a* ganz verkürzt, er geht in der Mitte zwischen *c* und *f*

rechtwinkelig zu der Ebene der Kanäle *edc* und *fgh* durch den Hahn durch.

Unsere Figur zeigt die Stellung des Hahns, wie sie seyn muß, wenn der Kolben im Stiefel *A* im Aufsteigen ist. Die Luft geht aus dem Re=

Fig. 21.



cipienten über *e*, *d*, *c* und *p* in den Cylinder *A*, auf der andern Seite wird durch den niedergehenden Kolben die Luft aus dem Cylinder *B* durch den Kanal *mfgh* ausgetrieben.

Denken wir uns zuerst den Kanal *a* ganz weg. Wenn man, nachdem der Kolben in *B* unten, der in *A* aber oben angekommen ist, den Hahn dreht, und zwar so, daß der Handgriff bei *v*, welcher jetzt nach der linken Seite steht nach der rechten zu liegen kommt, so wird der Kanal *hgf* im Hahn so zu liegen kommen, daß er an *pc* stößt, der Kanal *edc* aber wird an *mf* stoßen, so daß, wenn nun der Kolben in *B* auf=, der in *A* aber niedergeht, die Luft aus dem Recipienten nach *B* gelangt, die in *A* enthaltene aber ausgetrieben wird.

Wenn bei der Stellung des Hahns in unserer Figur der Kolben in *B* unten angekommen ist, so befindet sich im Kanal *mf* und in den unvermeidlichen Zwischenräumen unter dem Kolben noch Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, und wenn man den Hahn dann um 180° dreht, so verbreitet sich diese Luft in der schon verdünnten des Recipienten, so daß durch die im schädlichen Raume zurückbleibende Luft eine sehr bedeutende Verdünnung unmöglich gemacht wird.

Wenn nun aber der Kanal *a* vorhanden ist, so wird, wenn man den Hahn aus der Stellung unserer Figur herausdreht, nach $\frac{1}{4}$ Umdrehung

dieser Kanal *a* horizontal stehend von *f* nach *c* gehen, so daß nun die beiden Stiefel mit einander in Verbindung stehen; die in *mf* abgesperrte Luft wird sich also nun durch *a* in den Cylinder *A* verbreiten, welcher verdünnte Luft enthält, so daß nun im schädlichen Raume *mf* nicht Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, sondern bedeutend verdünntere Luft zurückbleibt.

Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten.

Mohr beschreibt in seinem »Lehrbuch der pharmaceutischen Technik,« in welchem sich, nicht allein für den Pharmaceuten, sondern auch für den arbeitenden Physiker und Chemiker sehr viel Wichtiges findet, folgende neue Methode das specifische Gewicht von Flüssigkeiten zu bestimmen.

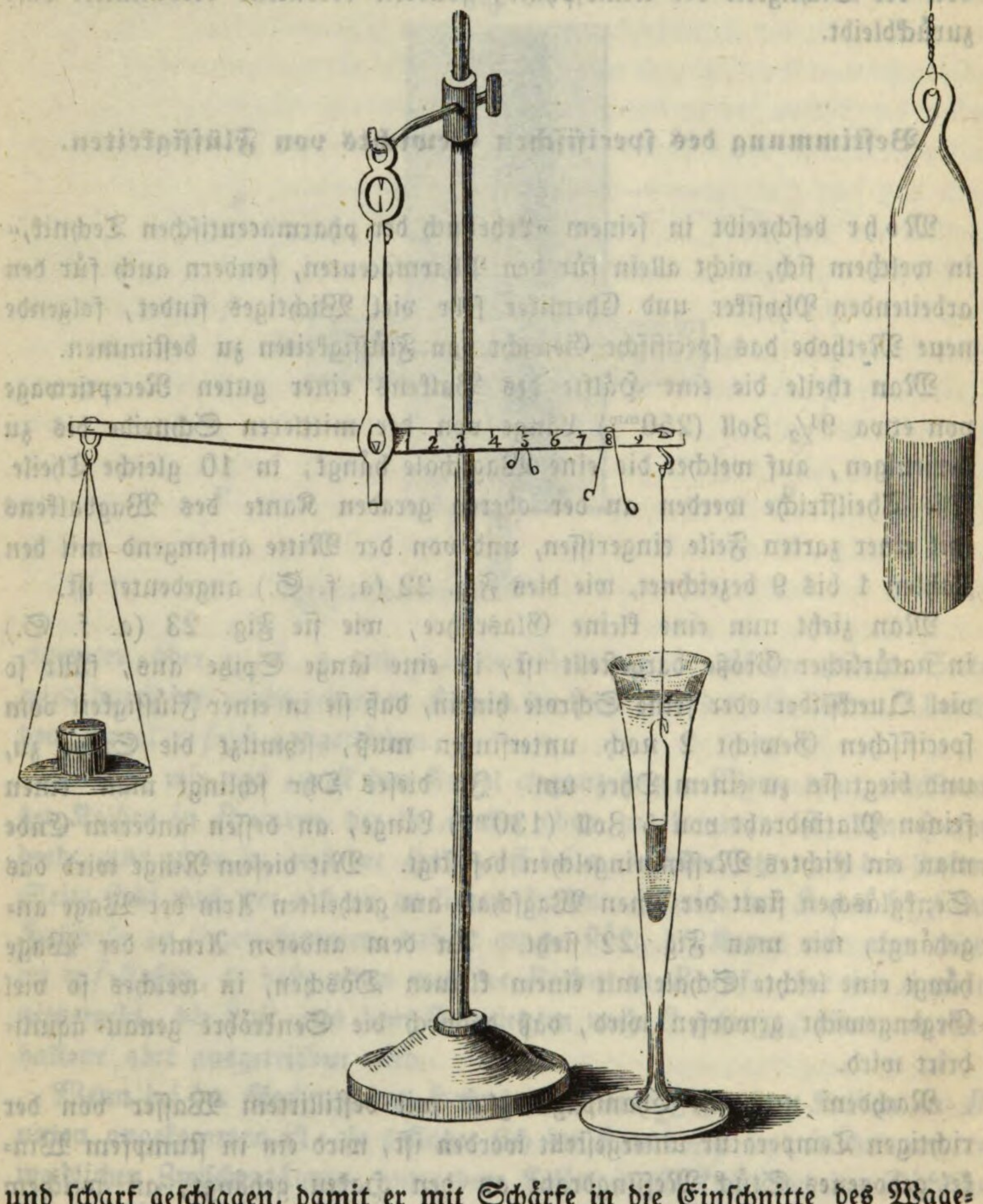
Man theile die eine Hälfte des Balkens einer guten Receptirwage von etwa $9\frac{1}{2}$ Zoll (250^{mm}) Länge von der mittleren Schneide bis zu derjenigen, auf welcher die eine Wagschale hängt, in 10 gleiche Theile. Die Theilstriche werden an der oberen geraden Kante des Wagbalkens mit einer zarten Feile eingerissen, und von der Mitte anfangend mit den Zahlen 1 bis 9 bezeichnet, wie dies Fig. 22 (a. f. S.) angedeutet ist.

Man zieht nun eine kleine Glasröhre, wie sie Fig. 23 (a. f. S.) in natürlicher Größe dargestellt ist, in eine lange Spitze aus, füllt so viel Quecksilber oder feine Schrote hinein, daß sie in einer Flüssigkeit vom specifischen Gewicht 2 noch untersinken muß, schmilzt die Spitze zu, und biegt sie zu einem Ohre um. In dieses Ohr schlingt man einen feinen Platindraht von 5 Zoll (130^{mm}) Länge, an dessen anderem Ende man ein leichtes Messingringelchen befestigt. Mit diesem Ringe wird das Senkgläschen statt der einen Wagschale am getheilten Arm der Wage angehängt, wie man Fig. 22 sieht. An dem anderen Arme der Wage hängt eine leichte Schale mit einem kleinen Döschen, in welches so viel Gegengewicht geworfen wird, daß dadurch die Senkröhre genau äquilibrirt wird.

Nachdem nun ein Champagnerglas mit destillirtem Wasser von der richtigen Temperatur untergestellt worden ist, wird ein in stumpfem Winkel gebogenes Stück Messingdraht an den Haken gehängt, an welchem das Senkgläschen aufgehangen ist. Mit Hülfe der Kneifzange und zuletzt der Feile macht man dieses Drahtstück genau so schwer, daß das Gleichgewicht wieder hergestellt wird, welches durch das Eintauchen des Gläschens in das Wasser gestört worden war. Der genau abnormirte Messingdraht hat nun genau das Gewicht des durch das Senkgläschen verdrängten Wassers.

Der Messingdraht wird nun in einem etwas spitzeren Winkel als vorher gebogen, und oben in seinem Buge mit einem glatten Hammer platt

Fig. 22. Fig. 23.



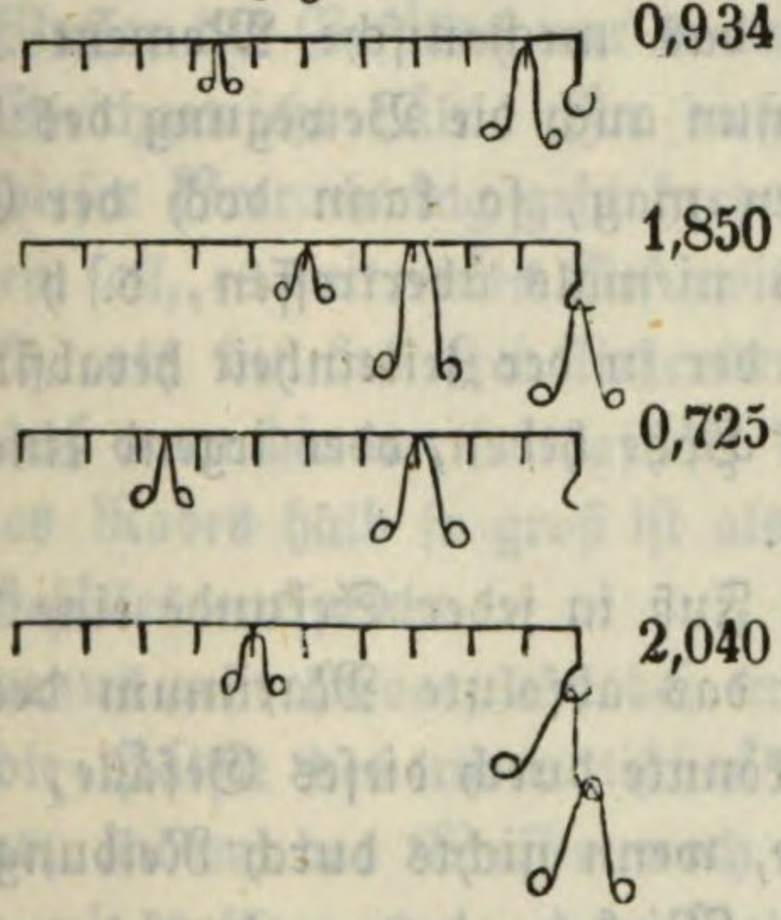
und scharf geschlagen, damit er mit Schärfe in die Einschnitte des Wagebalkens einspielt. Solcher Drähte werden zwei, und alsdann noch ein dritter angefertigt, dessen Gewicht genau $^1/_{10}$ von dem Gewichte eines der größern Drähte beträgt.

Der Gebrauch dieser Wage ist nun folgender. Man füllt das Champagnerglas oder die Glasröhre Fig 24, bis zu einem bestimmten mit dem Diamantsplitter markirten Striche an, läßt das Gläschen eintauchen und

schiebt den dicken Draht so lange auf dem Balken mit einer Pincette fort, bis das Gleichgewicht eingetreten ist. Wenn das specifische Gewicht kleiner als 1 ist, so findet man auf dem Balken eine Stelle, die dieser Bedingung entspricht. Gesetzt aber, diese Stelle läge zwischen zwei Zahlen, so müßte man die Entfernung auf Augenmaß abschätzen. In diesem Falle hängt man den schweren Draht auf die zunächst kleinere Zahl, und stellt nun den kleinen fehlenden Rest des Gleichgewichts mit dem kleinen Drahte her. Trifft dieser Punkt zwischen zwei Zahlen, so schätzt man diese Entfernung nach Augenmaß auf Zehntel. Die Zahl, wo der große Draht hängt, ist die erste Decimalstelle, die, wo der kleine Draht hängt, die zweite, und wenn dieser zwischen zwei Zahlen hängt, so ist die nächste Zahl nach der Mitte der Wage die zweite Decimale, und die in Zehnteln geschätzte Entfernung von dieser Zahl an die dritte Decimalstelle. In Fig. 22 zeigen die beiden Drähte das specifische Gewicht 0,850 an. In Fig. 25 zeigen die nebenstehenden Zahlen die specifischen Gewichte an, die auf dem Wagebalken bei der jedesmaligen Lage der Drähte sich ergaben. Wenn das specifische Gewicht größer als 1 und kleiner als 2 ist, so hängt einer der schweren Drähte auf der Zahl 10, d. h. an dem Haken der Schneide, worauf das Senkgläschen hängt. Der zweite dicke Draht giebt, wie oben, die erste Decimale an, der kleine die zweite und dritte. Wegen der Dünnheit des Platindrahtes zum Aufhängen ist diese Bestimmungsmethode ungemein scharf. Sie geht bei guten Wagen ganz leicht auf die dritte Decimalstelle, im ganzen auf die vierte Stelle.

Fig. 24.

Fig. 25.



Diese Wägungen gehen ungemein rasch vor sich, und werden ohne alle Berechnung direct abgelesen. In einem unten etwas beilaufenden Champagnerglase bedarf man nur 6 Drachmen Wasser, um den Senkkörper frei spielen zu lassen. Ein gleich großes Volum jeder anderen Flüssigkeit genügt natürlich auch.

Mohr hat diesen Apparat noch weiter vervollkommnet, so daß er das specifische Gewicht bis auf die 4te Decimalstelle genau angeben kann.

Er wendet dazu eine ungleicharmige Wage an; der längere Arm ist ungefähr 300^{m}, der kürzere etwa 100^{mm} lang; am Ende des längeren, der in 100 gleiche Theile getheilt ist, wird das Senkgläschen angehängt. Der kurze Arm endigt mit einer Schraube, auf welcher ein Laufgewicht von Messing so gestellt werden kann, daß es das Senkglas gerade äquilibrirt.

Der Gebrauch dieses Apparates ist nach dem Vorhergehenden von selbst klar.

Vertikale Wasserräder.

Wenn Wasser fortwährend von einem höher gelegenen zu einem tiefer gelegenen Orte herabfließt, so kann man ein solches Wassergefälle als eine bewegende Kraft anwenden.

Wenn während der Zeiteinheit, also während einer Sekunde, eine Wassermasse, deren Gewicht M ist, von einer Höhe h herabfließt oder fällt, so ist Mh die Bewegungsquantität oder das mechanische Moment dieser Wassermasse. Auf welche Weise man nun auch die Bewegung des Wassers auf einen andern Körper übertragen mag, so kann doch der Effect das mechanische Moment des Gefälles niemals übertreffen, d. h. man kann durch die Gefälle höchstens eine der in der Zeiteinheit herabfließenden Wassermasse gleiche Last auf gleiche Höhe heben, oder irgend eine andere diese gleiche Wirkung hervorbringen.

Wenn z. B. von einer Höhe von 24 Fuß in jeder Sekunde eine Wassermasse von 800 Pfd. herabfällt, so ist das absolute Maximum des Effectes dieses Gefälles 19200, d. h. es könnte durch dieses Gefälle, wenn alle Kraft vollständig zur Wirkung käme, wenn nichts durch Reibung und andere Widerstände verloren ginge, eine Wirkung hervorgebracht werden, welche der Hebung einer Last von 19200 Pfd. in einer Sekunde 1 Fuß hoch gleichzusetzen ist.

Nimmt man nun an, daß ein Pferd, mit mittlerer Kraft und mittlerer Geschwindigkeit arbeitend, in einer Sekunde eine Last von 100 Pfund 4 Fuß hoch heben kann, so wäre das absolute Maximum des Effectes jenes Gefälles 48 Pferdekräften gleichzusetzen.

Wir wollen im Folgenden das absolute Maximum des Effectes eines Gefälles mit E bezeichnen.

Um das mechanische Moment eines Wassergefälles zu benutzen, wendet man meistens Wasserräder, d. h. Räder an, an deren Umfange das Wasser durch Druck oder Stoß wirkt.

Die gewöhnlichen Wasserräder drehen sich in vertikaler Ebene um eine

horizontale Axe. Man unterscheidet drei Hauptarten vertikaler Wasserräder, unterschlächtige, oberschlächtige und mittelschlächtige.

Bei den unterschlächtigen Rädern stehen die Schaufeln rechtwinklig auf dem Umfange des Rades. Die untersten Schaufeln sind in das Wasser eingetaucht, welches mit einer Geschwindigkeit fortfließt, welche von der Höhe des Gefälles abhängt.

Das fließende Wasser setzt nun auch das Rad in Bewegung und theilt ihm eine Geschwindigkeit mit, welche nach Umständen bald größer, bald kleiner seyn wird.

Wenn der Stoß des Wassers dem Rade eine Geschwindigkeit mittheilen soll, welche derjenigen gleich ist, mit welcher das Wasser fließen würde, wenn das Rad gar nicht da wäre, so darf das Rad dieser Bewegung gar keinen Widerstand entgegensetzen, es darf also gar nicht belastet seyn, mithin kann es in diesem Falle gar keine mechanische Wirkung hervorbringen, der Effect ist gleich Null.

Andererseits könnte man das Rad so stark durch ein Gegengewicht belasten, daß der Stoß des Wassers es gar nicht in Bewegung setzt, daß das Wasser des Gefälles nur einen statischen Druck ausübt, welcher jenem das Gleichgewicht hält. In diesem Falle ist der Effect abermals Null. Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß, wenn das Rad eine Arbeit vollbringen soll, es mit einer Geschwindigkeit sich bewegen muß, welche geringer ist, als die des frei fließenden Wassers; Theorie und Erfahrung zeigen, daß man die vortheilhafteste Wirkung erhält, wenn die Geschwindigkeit des Rades halb so groß ist als die Geschwindigkeit, welche der Höhe des Gefälles entspricht.

Daraus geht hervor, daß bei einem gewöhnlichen unterschlächtigen Rade nur die Hälfte des mechanischen Momentes des Gefälles zur Wirkung kommt, indem das Wasser noch mit der Hälfte der Geschwindigkeit abfließt, mit welcher es vor dem Rade ankam; der Effect eines solchen Rades kann also den Werth $\frac{1}{2}E$ nie übersteigen.

Allein selbst diese Wirkung kann in der Praxis nicht erreicht werden, weil immer ein Theil der Kraft durch Adhäsion des Wassers an den Wänden des Gerinnes, durch Reibungswiderstände u. s. w. verloren geht. Sorgfältig angestellte Versuche ergaben für unterschlächtige Räder, welche sich in einem Gerinne bewegen, so daß kein seitliches Abfließen des Wassers stattfinden kann, den Werth

$$e = 0{,}3\,E$$

Bei freihängenden Rädern aber, wie man sie an Schiffsmühlen anbringt, wo das Wasser seitlich abfließen kann, ist der Effect noch weit mehr vom absoluten Maximum entfernt.

Die unterschlächtigen Räder werden da angewendet, wo man über ein

Gefälle von ziemlich bedeutender Wassermenge, aber geringer Fallhöhe zu disponiren hat.

Weil durch die eben betrachteten unterschlächtigen Räder bei dem rechtwinkligen Stoße des Wassers gegen die Schaufeln das mechanische Moment des Gefälles so sehr schlecht benutzt wird, hat Poncelet ein unterschlächtiges Rad mit krummen Schaufeln construirt, dessen Effect dem absoluten Maximum weit näher kommt.

Wenn das Wasser ganz ohne Stoß auf das Rad kommen soll, so müßten die Schaufeln am Radumfange mit der Richtung der Tangente zusammenfallen; wollte man aber die Schaufeln wirklich so construiren, daß dieser Bedingung Genüge geleistet wird, so wäre der Austritt des Wassers aus dem Rade gehemmt; auch darf das Wasser seine Geschwindigkeit doch nicht vollständig an das Rad abtreten, weil ihm sonst keine Geschwindigkeit zum Abflusse mehr bliebe. Somit ist auch beim Poncelet'schen Rade ein gewisser Verlust, die Widerstände ungerechnet, unvermeidlich.

Solche Räder mit krummen Schaufeln sollen einen Effect geben, welcher $^2/_3$ bis $^3/_4$ des absoluten Maximums ist. Der größere Effect der Poncelet'schen Räder erklärt sich dadurch, daß das Wasser, indem es auf der krummen Schaufel hinaufsteigt, seine Geschwindigkeit verliert und größtentheils an das Rad abgiebt.

Die oberschlächtigen Räder werden bei höheren Gefällen von geringerer Wassermasse, bei kleineren Gebirgsbächen angewendet. Das Wasser füllt, von oben auf das Rad laufend, die Zellen auf der einen Seite des Rades, welches eben durch dieses Uebergewicht umgedreht wird. Nahe am unteren Ende des Rades läuft das Wasser aus den Zellen wieder aus. Bei oberschlächtigen Rädern geht ebenfalls ein Theil des mechanischen Momentes des Gefälles verloren, weil die Zellen das Wasser nicht bis zum tiefsten Punkte des Rades behalten können, sondern schon früher auszugießen beginnen. Ein gut gebautes oberschlächtiges Rad soll einen Effect hervorbringen, welcher 75 Procent des absoluten Maximums beträgt, vorausgesetzt, daß es sich langsam umdreht, denn bei rascher Umdrehung bleibt das Wasser in den Zellen in Folge der Centrifugalkraft nicht horizontal, sondern es steigt nach außen, so daß es noch früher aus den Zellen herausfällt.

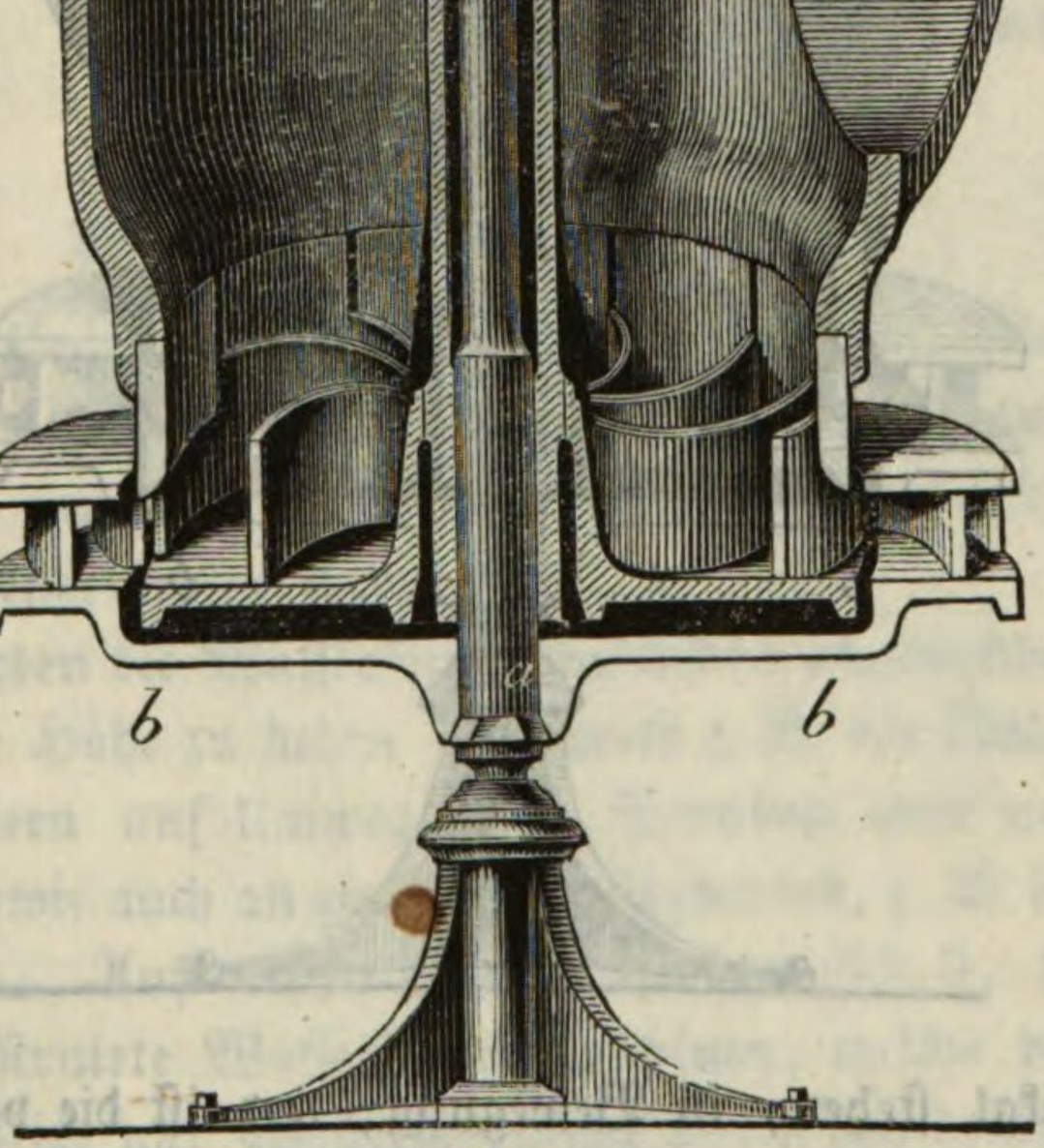
Das mittelschlächtige Rad bildet eine Art Mittelgattung zwischen dem unterschlächtigen und oberschlächtigen.

Horizontale Wasserräder.

Schon früher hatte man versucht, horizontale Wasserräder zu construiren, allein durch Fourneyron sind sie erst in neuerer Zeit in die Praxis eingeführt worden. Die Fourneyron'schen horizontalen Wasserräder sind unter dem Namen der Turbinen bekannt.

Fig. 26 stellt eine für ein hohes Gefälle construirte Turbine dar.

Fig. 26.

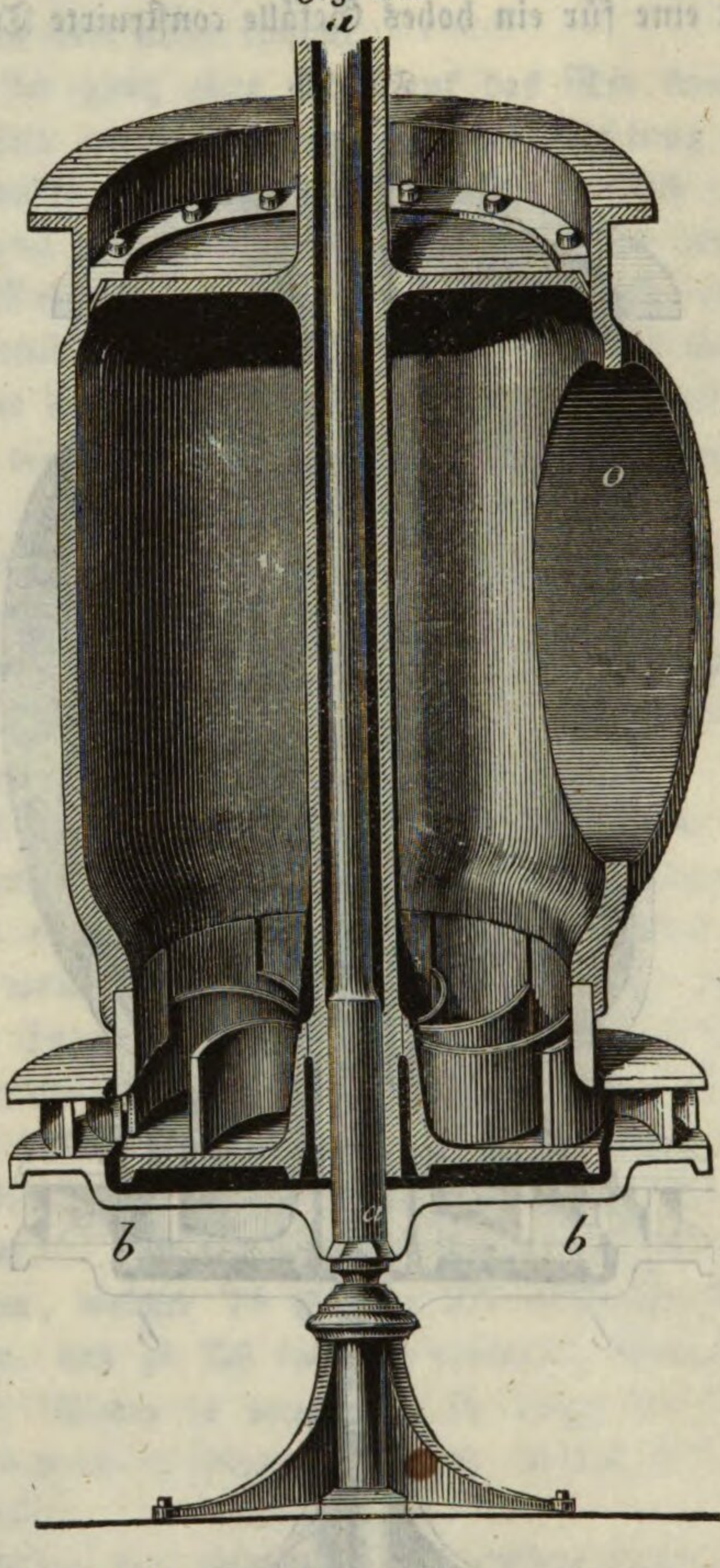


Die ganze Wassermasse des Gefälles ist in einem weiten gußeisernen Rohre angesammelt, aus welchem es in ein gußeisernes Behälter durch die Oeffnung *o* eintritt. Durch die Mitte des Reservoirs geht eine hohle Röhre, welche den oberen Deckel mit dem Boden verbindet. Dieser hori-

zontale Boden stößt aber nicht an die vertikalen Wände des Gefäßes an, sondern es befindet sich zwischen ihm und den Seitenwänden ein ringförmiger Zwischenraum, aus welchem das Wasser in horizontaler Richtung herausströmt.

Dieses hier ausströmende Wasser setzt nun das horizontale Rad, dessen

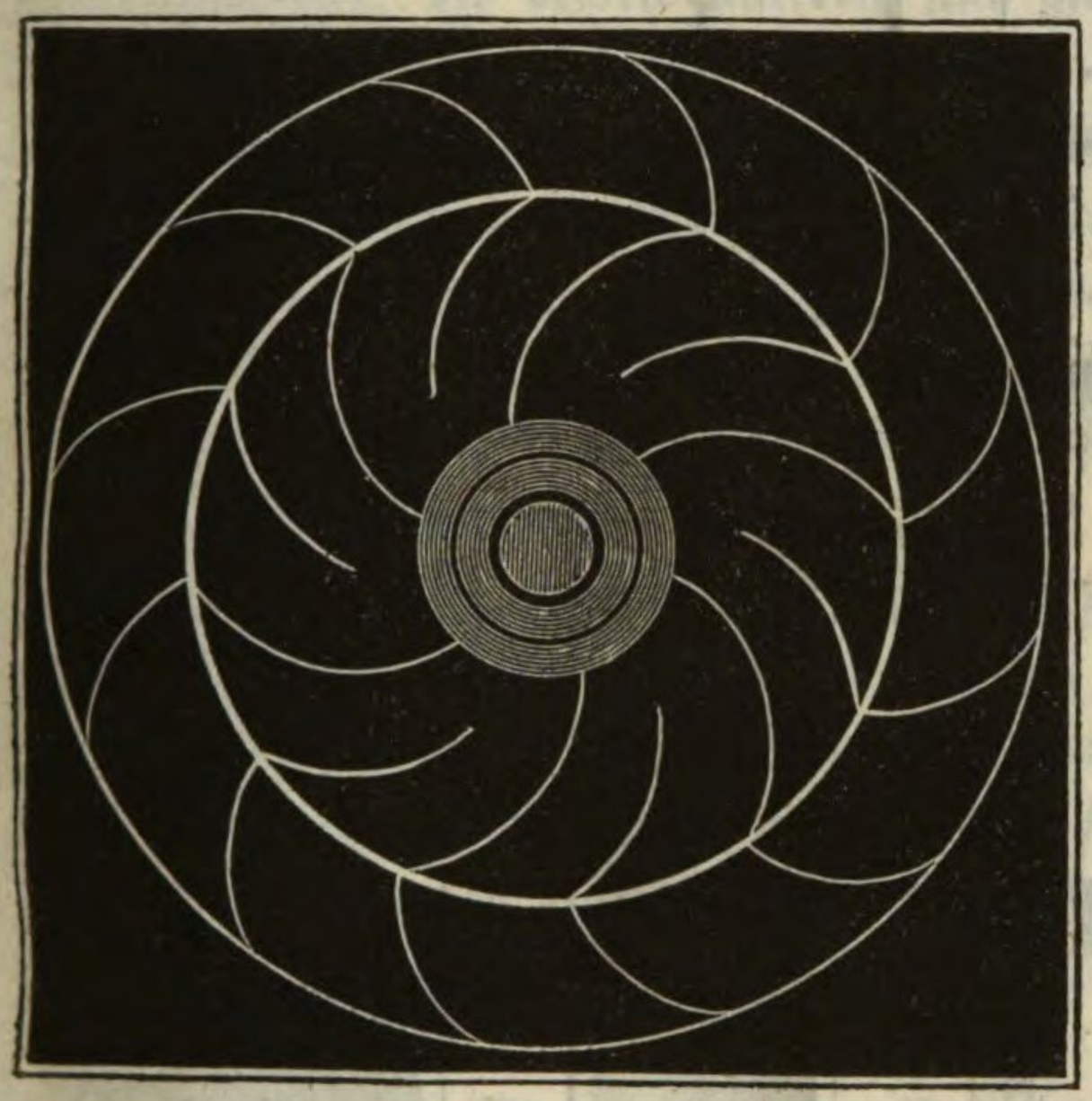
Fig. 27.



Schaufeln vertikal stehen, in Bewegung; *a a* ist die vertikale Axe, um welche sich das Rad dreht; sie geht durch die Hülse hindurch, welche Boden und Deckel des Reservoirs verbindet. An dieser Axe ist der Teller *b b* befestigt, welcher, der Oeffnung des Reservoirs gegenüber, den Radkranz mit den Schaufeln trägt.

Die Schaufeln ſind gekrümmt, wie man im Grundriſſe, Fig. 28, ſieht; um aber zu bewirken, daß das Waſſer in möglichſt vortheilhafter Richtung gegen die Schaufeln des Rades ſtößt, ſind auf dem Teller des Reſervoirs Leitkurven von Blech aufgeſetzt, welche dem ausſtrömenden Waſſer eine beſtimmte Richtung geben.

Fig. 28.



Die vortheilhafteſte Krümmung der Schaufeln und Leitkurven näher zu betrachten, würde uns zu weit führen.

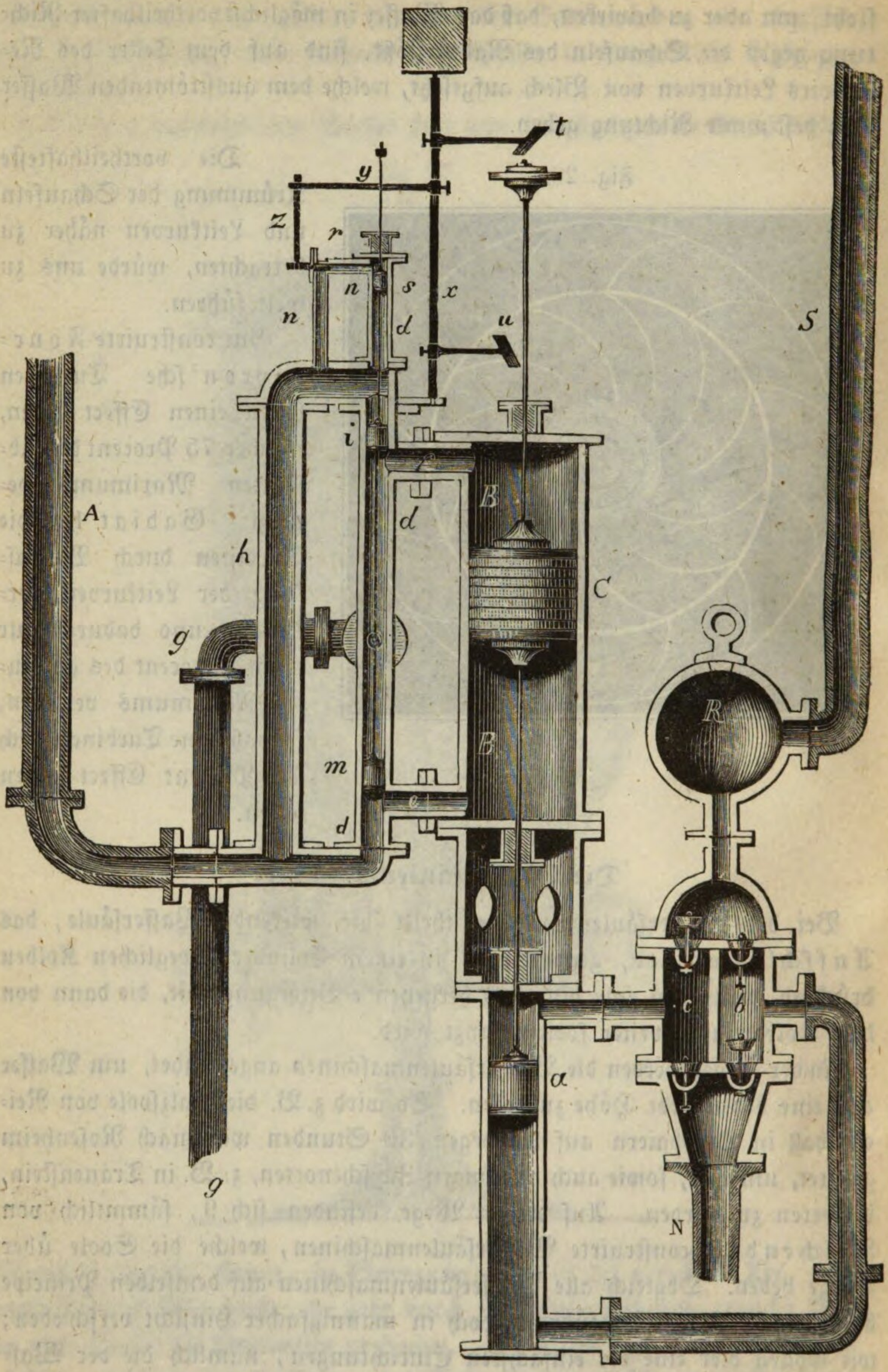
Gut conſtruirte Fourneyron'ſche Turbinen ſollen einen Effect geben, welcher 75 Procent des abſoluten Maximums beträgt. Gadiat hat die Turbinen durch Weglaſſung der Leitkurven vereinfacht und dadurch nur noch 5 Procent des abſoluten Maximums verloren, ſo daß ſeine Turbinen noch 70 Procent Effect geben ſollen.

Die Waſſerſäulenmaſchine.

Bei der Waſſerſäulenmaſchine theilt die wirkende Waſſerſäule, das Aufſchlagwaſſer, gegen einen in einem Cylinder beweglichen Kolben drückend, demſelben eine hin- und hergehende Bewegung mit, die dann von dem Kolben aus weiter fortgepflanzt wird.

In der Regel werden die Waſſerſäulenmaſchinen angewendet, um Waſſer auf eine bedeutende Höhe zu heben. So wird z. B. die Salzſoole von Reichenhall in Oberbaiern auf Umwegen 30 Stunden weit nach Roſenheim geleitet, um hier, ſowie auch an einigen Zwiſchenorten, z. B. in Trauenſtein, verſotten zu werden. Auf dieſem Wege befinden ſich 9, ſämmtlich von Reichenbach conſtruirte Waſſerſäulenmaſchinen, welche die Soole über Berge heben. Obgleich alle Waſſerſäulenmaſchinen auf demſelben Principe beruhen, ſo iſt ihre Ausführung doch in mannigfacher Hinſicht verſchieden; wir wollen hier eine der einfachſten Einrichtungen, nämlich die der Waſſerſäulenmaſchine am Neſſelgraben (eine jener 9 Maſchinen) etwas näher betrachten.

Fig. 29.



Die Röhre *A* führt das Aufschlagwasser der Maschine zu; es tritt abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder *B* ein und treibt dadurch den Kolben *C* abwechselnd auf und nieder.

Um diese Abwechselung im Eintreten des Wassers hervorzubringen, ist eine Vorrichtung angebracht, welche der Steuerung bei Dampfmaschinen ganz ähnlich ist. In dem Cylinder *d* bewegen sich drei mit einander verbundene Kolben; die beiden unteren sind gleich; der obere hat einen kleineren Querschnitt.

Bei der in der Zeichnung dargestellten Stellung der Kolben tritt das Aufschlagwasser durch die Röhre *e* in den großen Cylinder und treibt den Kolben *C* in die Höhe. Das Wasser, welches sich über *C* befindet, fließt durch die Röhre *f* in die Röhre *d* und von da durch die Röhre *g* ab.

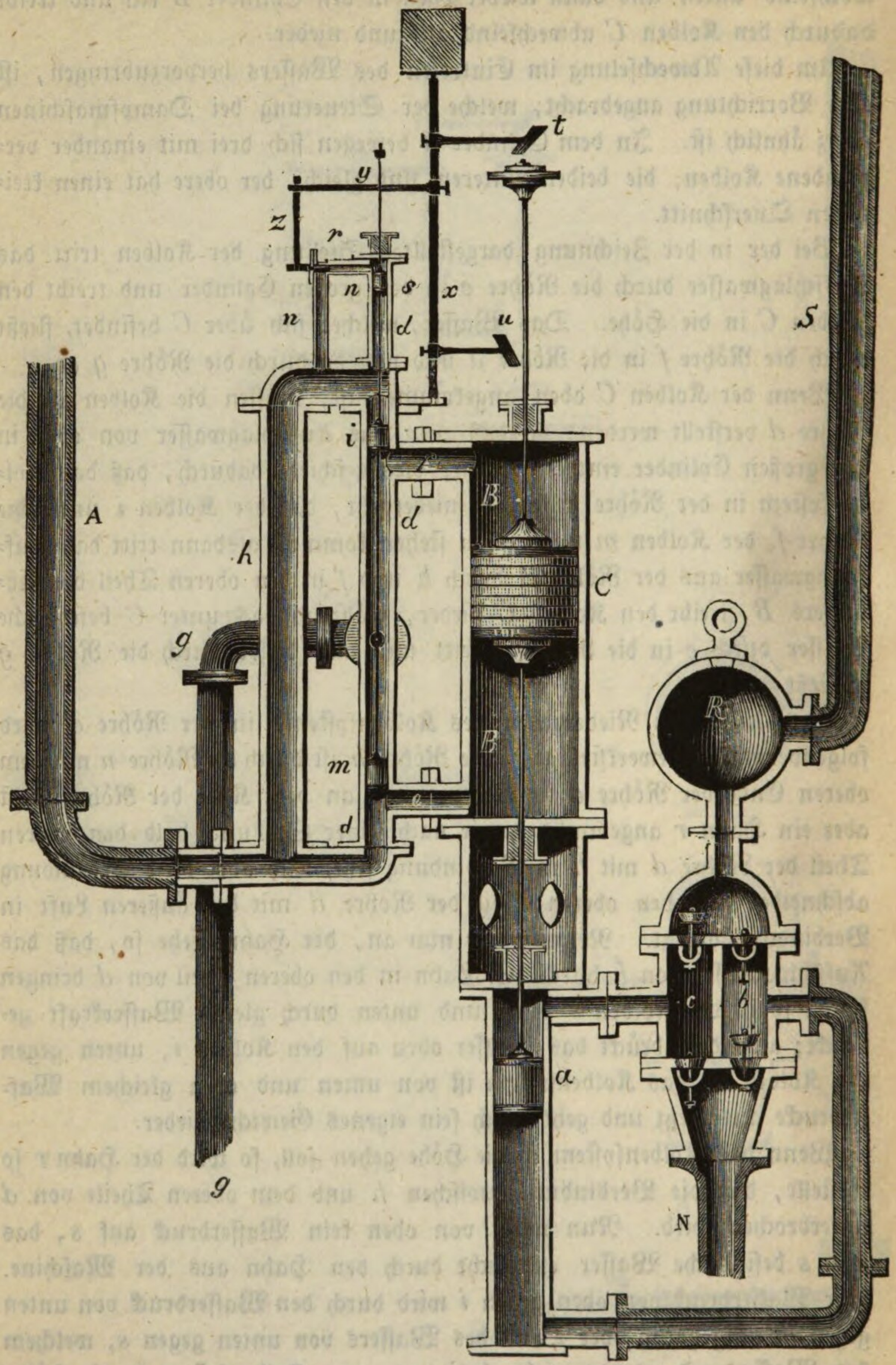
Wenn der Kolben *C* oben angekommen ist, müssen die Kolben in die Röhre *d* verstellt werden, so daß nun das Aufschlagwasser von oben in den großen Cylinder eintreten kann; dies geschieht dadurch, daß das Kolbensystem in der Röhre *d* so weit niedergeht, daß der Kolben *i* unter die Röhre *f*, der Kolben *m* unter *e* zu stehen kommt; alsdann tritt das Aufschlagwasser aus der Röhre *A* durch *h* und *f* in den oberen Theil des Cylinders *B*, treibt den Kolben *C* nieder, während das unter *C* befindliche Wasser durch *e* in die Röhre *d* tritt und aus dieser durch die Röhre *g* abfließt.

Das Auf- und Niedergehen des Kolbensystems in der Röhre *d* wird folgendermaßen bewerkstelligt. Die Röhre *h* ist durch die Röhre *n* mit dem oberen Ende der Röhre *d* in Verbindung; an dem Knie der Röhre *n* ist aber ein Hahn *r* angebracht, der je nach seiner Stellung bald den oberen Theil der Röhre *d* mit *h* in Verbindung setzt, bald aber diese Verbindung abschneidet und den oberen Theil der Röhre *d* mit der äußeren Luft in Verbindung bringt. Nehmen wir nun an, der Hahn stehe so, daß das Aufschlagwasser von *h* durch den Hahn in den oberen Theil von *d* dringen kann, so ist der Kolben *s* oben und unten durch gleiche Wasserkraft gedrückt; außerdem drückt das Wasser oben auf den Kolben *i*, unten gegen den Kolben *m*, das Kolbensystem ist von unten und oben gleichem Wasserdrucke ausgesetzt und geht durch sein eigenes Gewicht nieder.

Wenn das Kolbensystem in die Höhe gehen soll, so wird der Hahn *r* so verstellt, daß die Verbindung zwischen *h* und dem oberen Theile von *d* unterbrochen wird. Nun wirkt von oben kein Wasserdruck auf *s*, das über *s* befindliche Wasser entweicht durch den Hahn aus der Maschine. Der Wasserdruck von oben gegen *i* wird durch den Wasserdruck von unten gegen *m* aufgehoben, der Druck des Wassers von unten gegen *s*, welchem kein Wasserdruck entgegenwirkt, hebt das ganze Kolbensystem in die Höhe.

Die Verstellung des Hahns wird durch die Maschine selbst bewerkstel-

Fig. 30.



ligt. Am oberen Ende der am Kolben *C* befestigten Kolbenstange ist eine runde Scheibe angebracht, welche beim Aufgange des Kolbens gegen die schiefe Fläche *t*, beim Niedergange gegen die schiefe Fläche *u* stößt, diese seitwärts schiebt und dadurch eine Drehung um die Axe *x* bewerkstelligt. An der Axe *x* ist aber der Hebelarm *y* befestigt, der Hebelarm *y* bewirkt eine Drehung des Hebelarms *z* und durch diesen eine Drehung des Hahns.

Betrachten wir nun weiter, wie die Bewegung des Kolbens *c* fortgepflanzt und verwendet wird.

Mit dem Kolben *C* ist vermittelst einer durch eine Stopfbüchse gehenden Stange der Kolben *a* in Verbindung, welcher einen weit kleineren Durchmesser hat als *C*; der Auf- und Niedergang des Kolbens *C* bewirkt also einen Auf- und Niedergang des Kolbens *a*; wenn aber *a* in die Höhe geht, so entsteht in der Kammer *b* eine Verdünnung, das untere Ventil öffnet sich, und es wird durch die Saugröhre *N* Wasser in die Kammer *b* gehoben. Durch den Aufgang des Kolbens *a* wird aber das Wasser in die Kammer *c* hineingepreßt, das untere Ventil schließt, das obere öffnet sich, das Wasser wird also durch den Kolben in das Reservoir *R* und aus diesem in die Steigröhre *S* gehoben.

Beim Niedergange des Kolbens schließen sich die Ventile, die jetzt offen waren, und umgekehrt; es wird Wasser in die Kammer *c* gesaugt, aus *b* aber in das Reservoir und die Steigröhre gehoben.

Wenn der Querschnitt des Kolbens *C* 2, 3, 4mal größer ist, als der des Kolbens *a*, so kann man (die Reibungs- und sonstige Widerstände unberücksichtigt) eine Wassersäule heben, welche 2, 3, 4mal so hoch ist als die Höhe des Aufschlagwassers.

Bei der eben betrachteten Wassersäulenmaschine beträgt die Höhe des Aufschlagwassers 140′; sie hebt die Salzsoole auf eine Höhe von 346′; diese Salzwassersäule aber entspricht einer Süßwassersäule von 397′; der Durchmesser des Kolbens *C* ist $20\frac{1}{2}$, der des Kolbens *a* 10 Zoll, der größere Kolben hat also einen fast 4mal größeren Querschnitt. Daß die gehobene Wassersäule nicht 4mal so hoch ist als die Höhe des Aufschlagwassers, also nicht 560′ beträgt, rührt daher, daß eine bedeutende Kraft zur Ueberwindung der Reibungs- und sonstigen Widerstände nöthig ist. Diese Maschine giebt also ungefähr 70 Procent des absoluten Maximums, denn 397 verhält sich zu 560 nahe, wie 70 zu 100.

Die Wassersäulenmaschine zu Ilsang, ebenfalls zwischen Reichenhall und Rosenheim, die aber etwas anders construirt ist, hebt die Soole auf eine Höhe von 1218′, was der Hebung einer Säule von süßem Wasser auf die Höhe von 1460 Fuß gleich ist. Der Durchmesser des größeren Kolbens ist 25″ 8‴, der des kleineren 11″ $3\frac{1}{4}$‴.

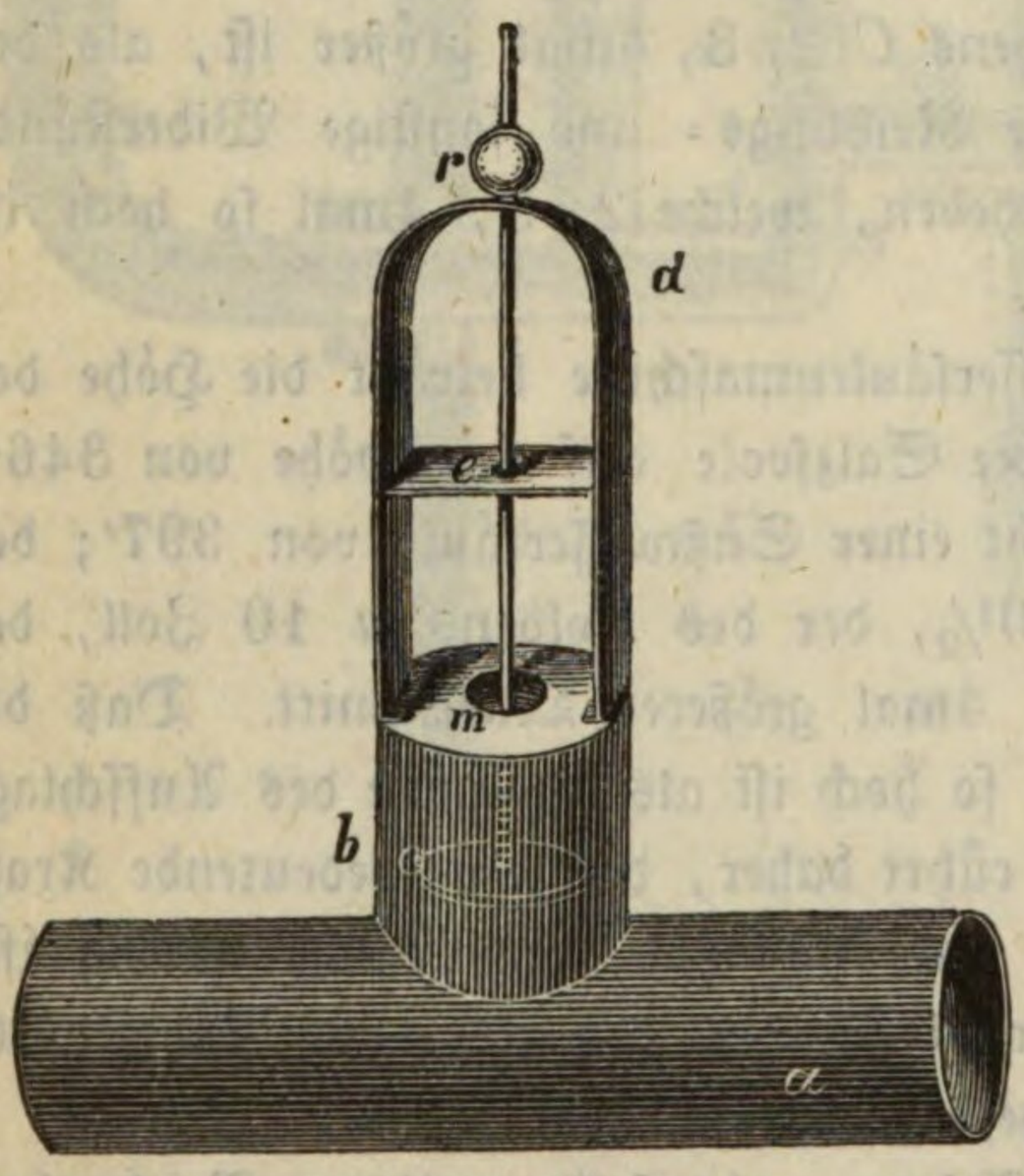
Bei der Umwandlung der auf- und niedergehenden Bewegung des Kolbens in eine gleichförmig rotirende, wie dies bei der Dampfmaschine der Fall ist, stößt man bei der Wassersäulenmaschine auf große Schwierigkeiten, weil das Wasser nicht elastisch ist wie der Dampf. Doch hat Reichenbach bei einer kleinen zu Toskana aufgestellten Maschine auch diese Schwierigkeit durch eine sinnreiche Einrichtung der Steuerungskolben überwunden; wir können aber hier nicht weiter auf diesen Gegenstand eingehen.

Mohr's Stoßheber.

Der auf S. 189 des ersten Bandes besprochene hydraulische Widder, oder, wie man ihn auch nennt, der Stoßheber, gehört gewiß zu den instructivsten physikalischen Vorrichtungen, und es ist deshalb wünschenswerth, die Wirkung desselben durch Modelle auch in physikalischen Kabinetten zeigen zu können; die bis jetzt construirten Modelle des Stoßhebers sind aber unverhältnißmäßig kostspielig. Die in Folgendem beschriebene, von Dr. Mohr in Koblenz herrührende Vorrichtung wird deshalb manchem Lehrer der Physik willkommen seyn.

Mohr's Stoßheber kann leicht aus Glasröhren und einem messingenen Ausflußventilchen hergestellt werden. Letzteres, in Fig. 31 dargestellt, ist die Hauptsache daran. Es wird aus dünnem Messingbleche vom Spengler oder Mechaniker hergestellt. Auf der horizontalen Röhre *a* sitzt senkrecht das kurze Röhrchen *b*, oben mit einer Scheibe geschlossen, in der sich ein kleines Loch *m* befindet. Durch dieses Loch geht der Stiel des Ventilchens *c*, dessen Scheibe, als unsichtbar, punktirt angedeutet ist. Der Stiel hat in dem Bügel *d* und dem Metallstreifchen *e* senkrechte und gerade Führung.

Fig. 31.

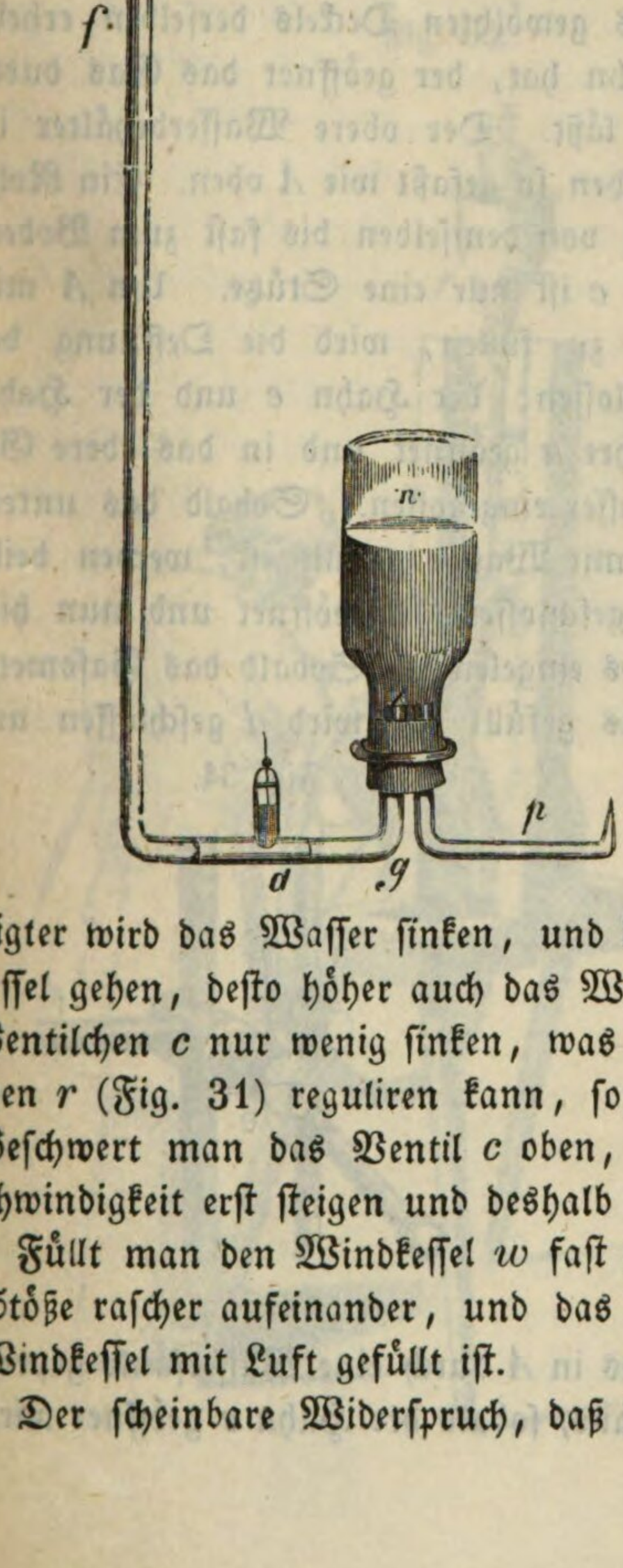


Dieses Ventilchen ist in die Mitte zweier Glasröhren eingekittet, wie es Fig. 32 darstellt.

Die senkrechte Röhre führt das Wasser herab. Dasselbe strömt zu der

kleinen Oeffnung *m* (Fig. 31) heraus, und die ganze herabsinkende Wassersäule nimmt eine Beschleunigung an, womit sie endlich das Ventilchen *c* hebt, und gegen die obere Platte der Röhre *b* (Fig. 31) antreibt; damit ist hier der Ausfluß gehemmt, und die ganze in heftiger Bewegung begriffene Wassersäule stößt an dem Ventil vorbei in den Windkessel *w*, (Fig. 32), indem sie das auf der Glasröhre *g* ruhende Ventil aus Leder augenblicklich hebt. Der Ausfluß aus diesem Windkessel durch die Röhre *p* ist aber so klein, im Verhältniß zum Zuströmen, durch die weite Röhre *g*, daß der Windkessel bald kein Wasser mehr aufnimmt, wodurch sich das Ventil des Windkessels wieder schließt. Die comprimirte Luft im Raume *w* dehnt sich aber im folgenden Augenblicke aus, und wirft einen Wasserstrahl aus der Röhre *p* aus. Indem aber der Windkessel kein Wasser mehr aufnahm, war der Stoß der Wassersäule ganz gehemmt, und das Ventil *b* sank wieder herunter, damit fing hier der Ausfluß bei *m* wieder an, und ihm folgten der Reihe nach dieselben Erscheinungen.

Fig. 32.



Je größer die Oeffnung *m* im Ventile (Fig. 31) ist, desto beschleunigter wird das Wasser sinken, und desto stärker der Stoß in den Windkessel gehen, desto höher auch das Wasser aus *p* spritzen. Läßt man das Ventilchen *c* nur wenig sinken, was man mit dem verschiebbaren Kügelchen *r* (Fig. 31) reguliren kann, so folgen die Stöße rasch aufeinander. Beschwert man das Ventil *c* oben, so wird es bei einer größeren Geschwindigkeit erst steigen und deshalb das Wasser höher aus *p* ausspritzen.

Füllt man den Windkessel *w* fast ganz mit Wasser an, so folgen die Stöße rascher aufeinander, und das Wasser spritzt höher, als wenn der Windkessel mit Luft gefüllt ist.

Der scheinbare Widerspruch, daß das Wasser aus *p* höher spritzt, als

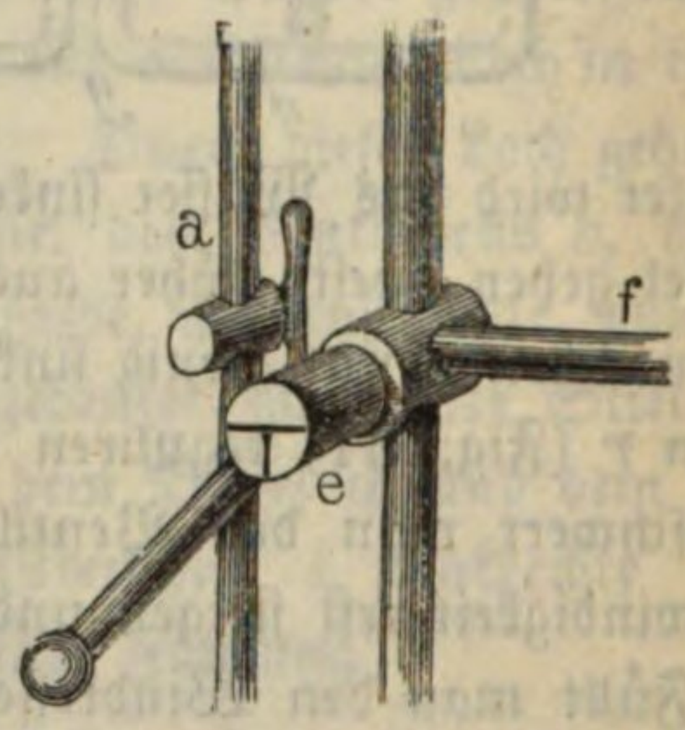
es in *a* herabsinkt, lös't sich durch die Betrachtung, daß nicht alles Wasser zu dieser Höhe gelangt, sondern ein großer Theil unten mit sehr geringer Bewegung ausfließt. Die an diesem verschwindende Bewegung erscheint an der kleinen Menge der ausgespritzten als vermehrte Höhe.

Gasometer.

Zu der Beschreibung der Gasometer auf Seite 192 ist noch hinzuzufügen. Eckling in Wien verfertigt jetzt solche Gasometer von Glas, welche höchst elegant sind und bei welchen man die ganze Einrichtung, der Durchsichtigkeit des Materials wegen, leicht übersieht. Es versteht sich von selbst, daß hier das Wasserstandsrohr wegfällt. Fig. 33 stellt einen solchen Apparat in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe dar. Das untere Glasgefäß *A* hat oben einen engeren Hals, der in eine Kupferbüchse eingekittet ist. In der Mitte des etwas gewölbten Deckels derselben erhebt sich eine Röhre, die bei *e* einen Hahn hat, der geöffnet das Gas durch das horizontale Rohr *f* ausströmen läßt. Der obere Wasserbehälter ist unten eben so gefaßt wie *A* oben. Ein Rohr *a* führt von demselben bis fast zum Boden von *A*, *c* ist nur eine Stütze. Um *A* mit Wasser zu füllen, wird die Oeffnung bei *d* geschlossen; der Hahn *e* und der Hahn der Röhre *a* geöffnet und in das obere Gefäß Wasser eingegossen. Sobald das untere Gefäß mit Wasser gefüllt ist, werden beide Hähne geschlossen, *d* geöffnet und nun hier das Gas eingeleitet. Sobald das Gasometer mit Gas gefüllt ist, wird *d* geschlossen und

Fig. 33.

Fig. 34.



der Hahn *a* geöffnet, so daß das Gas in *A* durch eine Wassersäule gepreßt ist. Das Gas strömt nun durch *f* aus, sobald der Hahn *e* geöffnet wird.

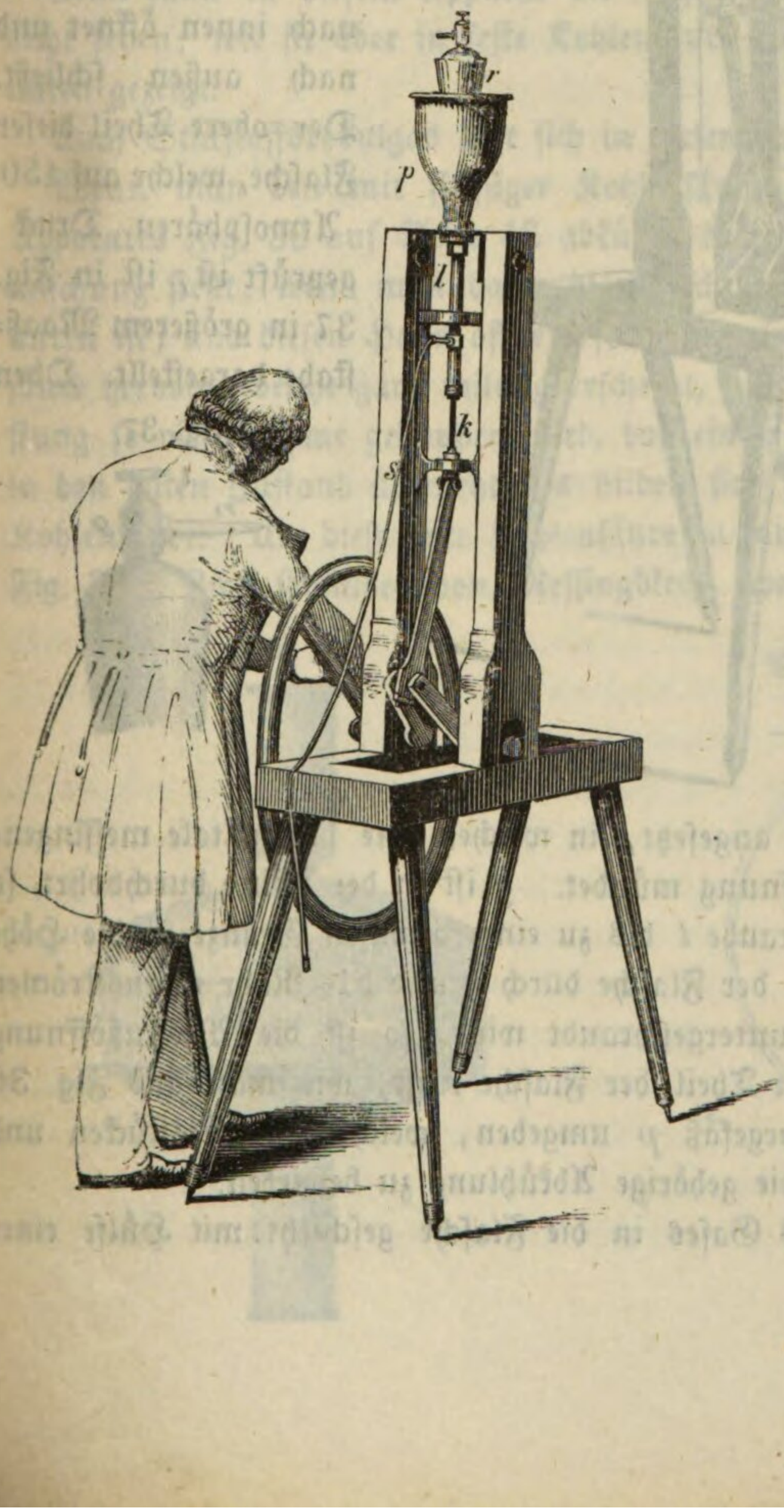
Bei der in Fig. 34 deutlicher gezeichneten doppelten Durchbohrung des Hahnes *e* kann man das Gas statt in die Luft durch die Röhre *f* auch durch die senkrechte Fortsetzung der Röhre *e* in das obere Wassergefäß austreten lassen, dieses als Wasserwanne benutzen und das Gas leicht in Glocken, Flaschen u. s. w. umfüllen.

Condensation der Gase.

In Betreff der Condensation von Gasen, ist auf Seite 279 Folgendes nachzutragen.

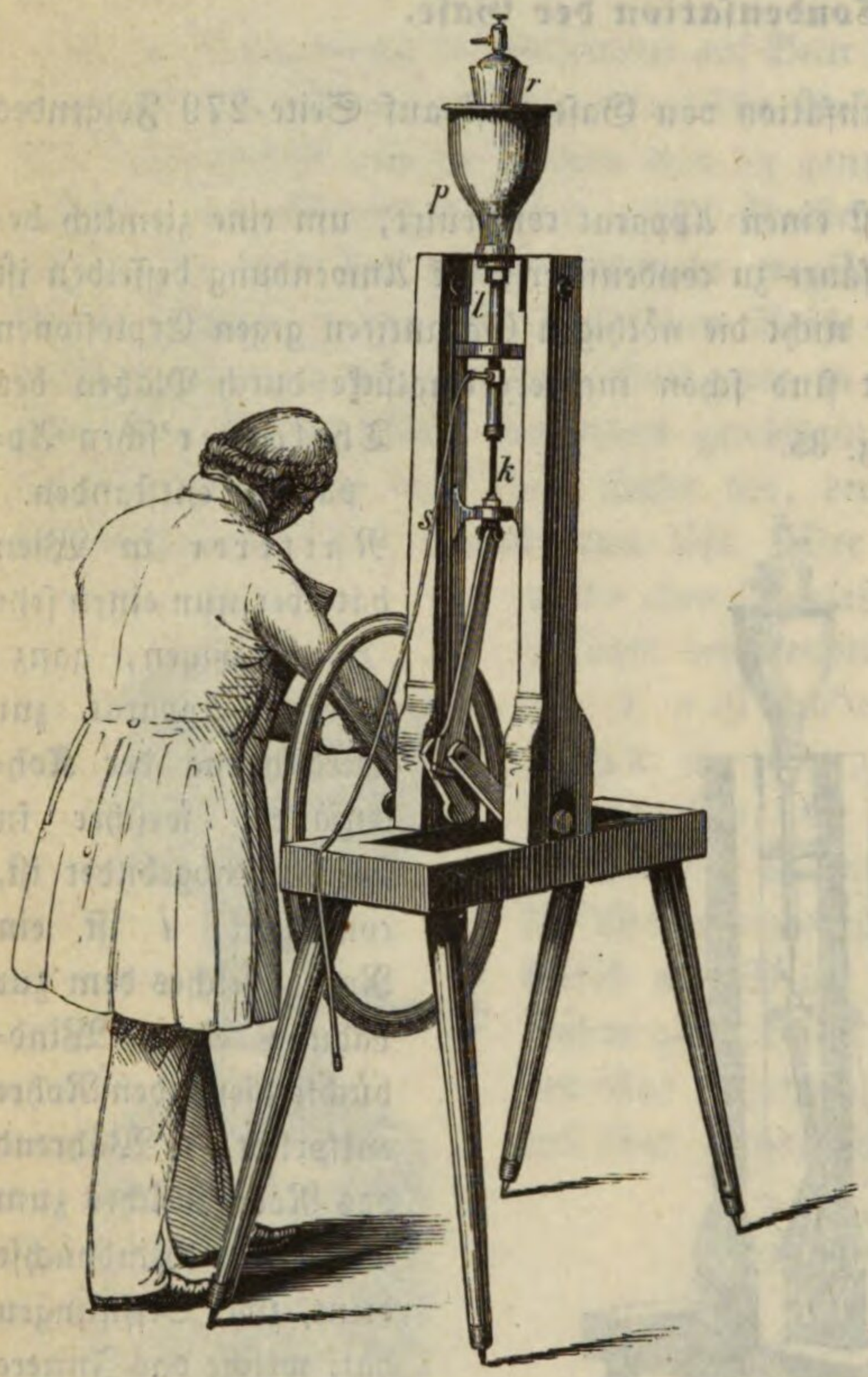
Thilorier hat zuerst einen Apparat construirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlensäure zu condensiren; die Anwendung desselben ist aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantieen gegen Explosionen bietet; und in der That sind schon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'schen Apparates entstanden. Natterer in Wien hat aber nun einen sehr zweckmäßigen, ganz sicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure, welcher in Fig. 35 abgebildet ist, construirt; *l* ist ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchse dienenden Rohre entspricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchse dient, zwei Oeffnungen hat, welche das Innere des Rohrs mit der äußeren Luft verbinden, ist hier unten nur eine Oeffnung, an welche sich ein Schlauch *s* ansetzt, der zu einem mit Kohlensäure gefüllten Gasometer führt. In unserer Figur ist nun

Fig. 35.



dieser Schlauch, aber nicht das Gasometer dargestellt. Man kann ein Gasometer von beliebiger Form anwenden. Es versteht sich von selbst, daß zwischen das Gasometer und dem Verdichtungsapparat eine Chlorcalciumröhre eingeschaltet werden muß, damit das Gas von Wasserdampf befreit wird.

Fig. 36.



Oben ist an den Lauf *l* eine starke Flasche *r* von Schmiedeeisen aufgeschraubt, welche den Windbüchsenkolben entspricht und auch ähnlich eingerichtet ist; da wo sie auf die Röhre aufgeschraubt wird, befindet sich nämlich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet und nach außen schließt. Der obere Theil dieser Flasche, welche auf 150 Atmosphären Druck geprüft ist, ist in Fig. 37 in größerem Maaßstabe dargestellt. Oben

Fig. 37.

ist ein eiserner Aufsatz *g* angesetzt, in welchen eine horizontale messingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* ist in der Mitte durchbohrt, so daß, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewissen Gränze in die Höhe schraubt, das Gas aus der Flasche durch *g* und das Rohr *n* ausströmen kann; wenn aber *t* heruntergeschraubt wird, so ist die Ausflußöffnung verschlossen. Der untere Theil der Flasche *r* ist, wie man aus Fig. 36 sieht, mit einem Kupfergefäß *p* umgeben, welches mit Eisstücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gases in die Flasche geschieht mit Hülfe einer

Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenstange *k* ist unten an einem messingenen Querstücke befestigt, welches in Coulissen läuft, die auf beiden Seiten am Gestell angebracht sind und wodurch die verticale Bewegung der Kolbenstange gesichert ist. Die Art der Bewegung und die Fortpflanzung der Bewegung ist aus der Figur ersichtlich.

Vor dem Beginn des Versuchs wird das Gewicht des Recipienten bestimmt. Nachdem er aufgeschraubt ist, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht, worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlensäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation so lange fortgesetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramm beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüssiger Kohlensäure gefüllt sind.

Man kann in diesem Apparat die Kohlensäure im flüssigen Zustande nicht sehen; wie sie aber in feste Kohlensäure verwandelt wird, ist weiter unten gezeigt.

Auch Stickstoffoxydulgas läßt sich in diesem Apparate verdichten.

Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 36 auf Seite 42 abkühlt, indem man ihn in eine Kältemischung stellt; wenn man dann die Flasche umkehrt, so daß der Hahn unten ist, und diesen Hahn öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure hervor, welche ganz milchig erscheint, weil durch die rasche Verdunstung so viel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht; es bilden sich schneeähnliche Flocken von Kohlensäure. Um diese feste Kohlensäure zu sammeln dient der Behälter Fig. 38. Zwei Cylinder von Messingblech, welche auf der einen Seite

Fig. 38.

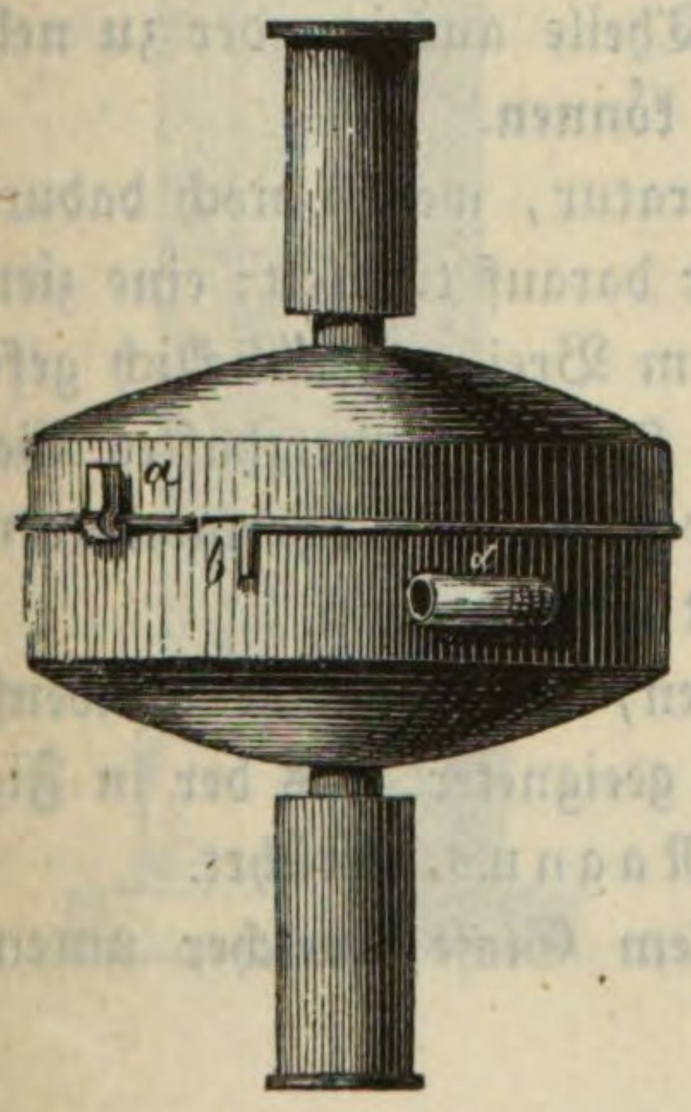
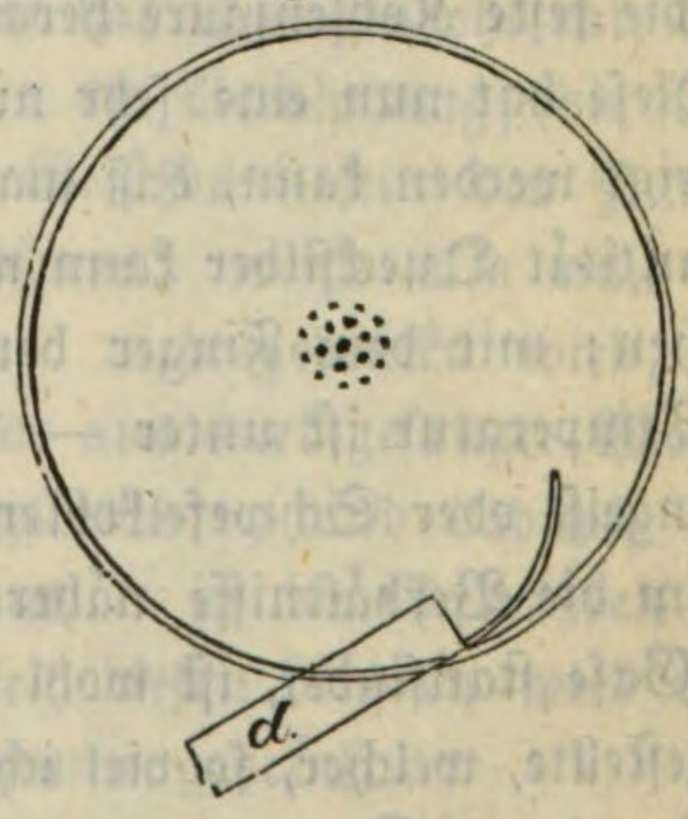


Fig. 39.



mit einem gewölbten Boden geschlossen sind, werden zusammengesteckt, wie man aus Fig. 40 ersieht, so daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Ein am oberen Cylinder fest ansitzender Haken *a* greift ebenso wie ein diametral gegenüberstehender über einen auf den andern Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man sie aber so, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unterbrochen ist, so kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 41 ist der untere Theil im Grundrisse

Fig. 40.

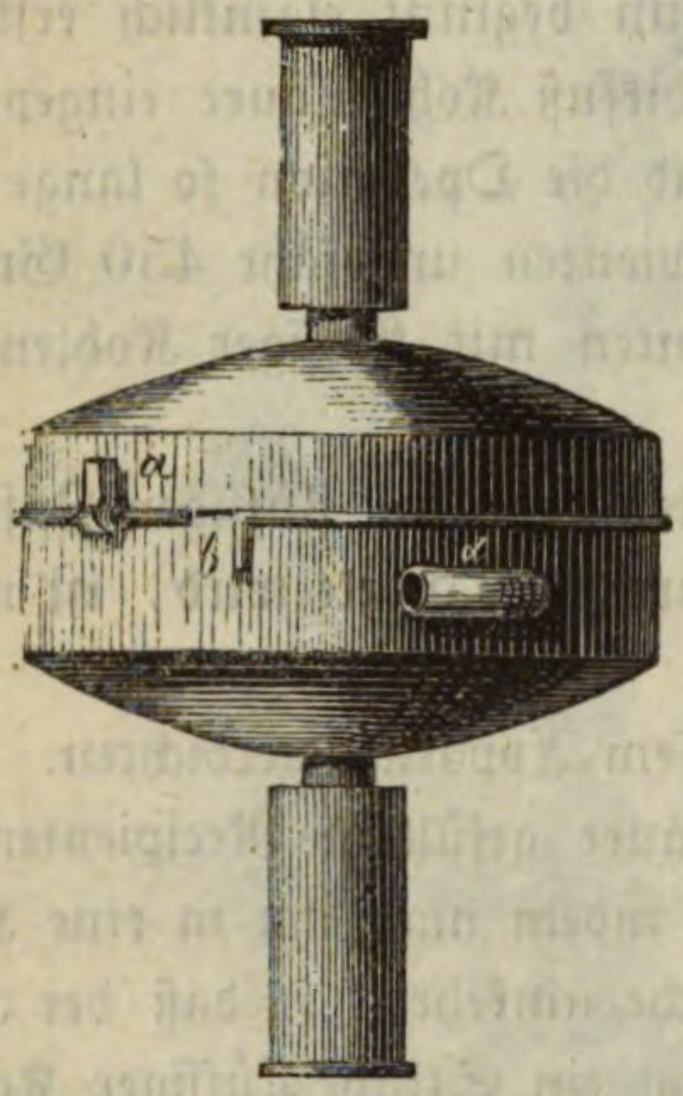


Fig. 41.

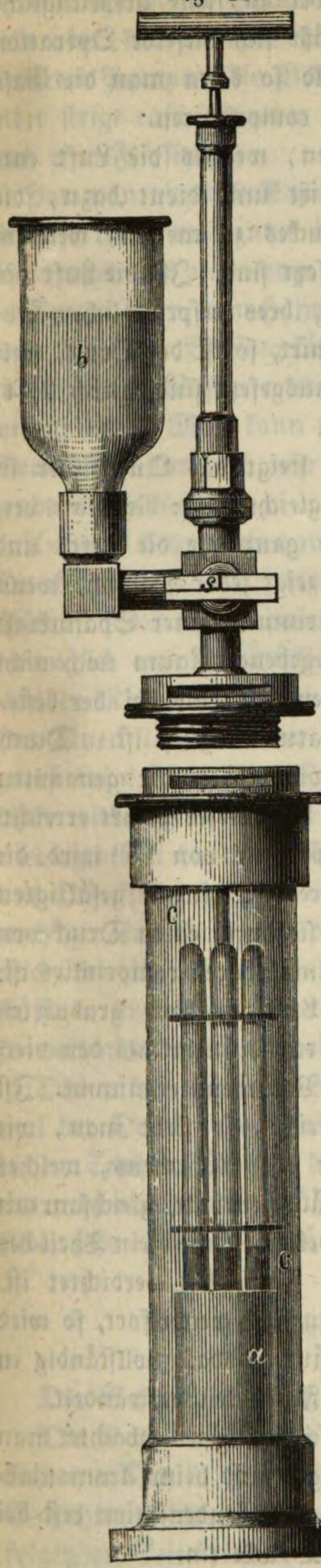
dargestellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in diese Röhre *d* wird das an der Flasche Fig. 37 befindliche Röhrchen *n* hineingesteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlensäure strömt nun in den Behälter Fig. 40, dessen Handgriffe auf beiden Seiten hohl sind, so daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlensäure entweichen kann, während die feste schneeartige in dem Blechgefäße gesammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feste Kohlensäure herausnehmen zu können.

Diese hat nun eine sehr niedrige Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man noch Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Queckſilber kann man mit diesem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt erzeugt sie ein schmerzhaftes Gefühl; die Temperatur ist unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeist oder Schwefelkohlenstoff ermittelt werden kann.

Um die Verhältnisse näher zu untersuchen, bei denen die Condensation der Gase stattfindet, ist wohl kein Apparat geeigneter, als der in Fig. 42 dargestellte, welcher, so viel ich weiß, von Magnus herrührt.

In einem Glascylinder *c* von sehr dickem Glase, welcher unten mit

Fig 42.



einem Messingfuß versehen ist, damit er sicher steht, wird ein Gefäß *a* von Eisenblech eingesetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe versehen ist, mittelst dessen man es aus dem Glascylinder hineinsetzen und wieder herausnehmen kann. Dieses Gefäß ist mit Quecksilber gefüllt und in dieses Quecksilber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite schweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen sind unten offen, die Gase also durch Quecksilber abgesperrt.

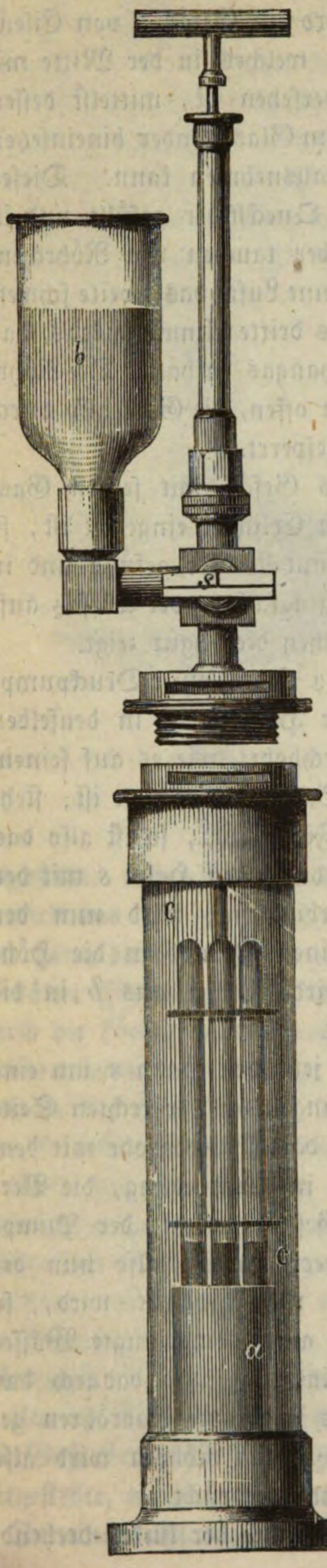
Wenn dieses Gefäß mit seinen Gasröhrchen in den Cylinder eingesetzt ist, so wird er ganz mit Wasser gefüllt und in seine obere Messingfassung der Aufsatz aufgeschraubt, welchen die Figur zeigt.

Dieser Aufsatz ist mit einer Druckpumpe versehen. Der Hahn *s* ist in denselben Richtungen durchbohrt, wie es auf seinem Griffe durch Striche angedeutet ist; steht er, wie es die Figur zeigt, so ist also das Wassergefäß *b* durch den Hahn *s* mit der Pumpe in Verbindung; wird nun der Kolben der kleinen Pumpe in die Höhe gezogen, so wird Wasser aus *b* in die Pumpe gesaugt.

Dreht man jetzt den Hahn *s* um eine Viertelumdrehung nach der rechten Seite hin, so kommt das Pumpenrohr mit dem Glascylinder *c* in Verbindung, die Verbindung des Gefäßes *b* mit der Pumpe ist aber abgesperrt, wenn also nun der Pumpenkolben niedergedrückt wird, so wird das zuvor aus *b* eingesaugte Wasser in den Glascylinder *c*, und dadurch das Quecksilber aus *a* in die Gasröhren gepreßt, in allen diesen Röhren wird also das Gas zusammengedrückt.

Bringt man, nach der linken drehend,

Fig. 43.



den Hahn wieder in seine ursprüngliche Stellung, so läßt sich dieselbe Operation wiederholen, und so kann man die Gase mehr und mehr comprimiren.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, ist graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu messen, welchem die Gase ausgesetzt sind. Ist die Luft bis auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ ihres ursprünglichen Volumens comprimirt, so ist der Druck, welchem die Gase ausgesetzt sind, gleich 2, 4, 8 Atmosphären.

Im Anfang steigt das Quecksilber in allen Röhrchen gleichmäßig; die Gase verhalten sich also ganz wie die Luft, und dies Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum seiner Spannkraft ist, wenn ein gegebener Raum noch nicht so viel Dampf enthält, als bei der bestehenden Temperatur möglich ist. Durch fortwährende Compression der genannten Gase wird aber bald dieser Punkt erreicht. Bei einer Temperatur von 15^0 wird die schweflige Säure zu einem gesättigten Dampf, wenn sie durch einen Druck von nahe zu vier Atmosphären comprimirt ist, wenn also die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den vierten Theil ihres Volumens einnimmt. Ist diese Gränze erreicht, so sieht man, wie sich das Innere des Röhrchens, welches die schweflige Säure enthält, gleichsam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gases schon zu Flüssigkeit verdichtet ist. Pumpt man nun noch weiter fort, so wird die schweflige Säure alsbald vollständig in eine wasserhelle Flüssigkeit verwandelt.

Dieselben Erscheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condensation erst bei einem stärkeren Drucke ein.

Anfangs ist die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, sobald aber für ein Gas der erwähnte Grenzpunkt erreicht ist, wird bei fernerem Pumpen sein Volumen bei weitem rascher abnehmen, das Queckſilber steigt rasch bis oben hin und über demselben befindet sich dann nur noch eine Flüssigkeit.

Hat man die drei Gase vollständig zu tropfbaren Flüssigkeiten condensirt, so kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erscheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine solche Stellung, daß der Glascylinder *c* mit dem Wassergefäß *b* in Verbindung kommt, so tritt das vorher eingepumpte Wasser wieder aus *c* nach *b* zurück, die Gase dehnen sich wieder aus. Man kann nun aber den Hahn allmälig drehen, so daß der Druck in *c* nur nach und nach abnimmt, und dabei beobachtet man folgende Erscheinungen:

Anfangs dehnt sich nur die Luft aus; in den anderen Röhren sinkt das Queckſilber noch nicht, bis der Punkt erreicht ist, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in diesem Moment bilden sich aus der Flüssigkeit Dämpfe, die das Queckſilber des entsprechenden Röhrchens nun so rasch niederdrücken, daß es alsbald den Stand des Queckſilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerst beim Ammoniak Statt. Schließt man den Hahn in dem Augenblicke wieder, wo sich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Queckſilber niedergedrückt haben, so steht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Queckſilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat sich noch gar kein Gas aus der Flüssigkeit entwickelt. Läßt der Druck ferner nach, so wird sich zunächst aus dem flüssigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüssigen schwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Queckſilber alsbald so weit niederdrücken, daß es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das rasche Sinken des Queckſilbers rührt aber daher, daß wenn einmal der Druck so weit abgenommen hat, daß er der Spannkraft der bei dieser Temperatur aus der Flüssigkeit sich bildenden Dämpfe gleich ist, nun auf einmal alle Flüssigkeit in die Gasform übergeht und das Queckſilber sehr rasch niederdrückt.

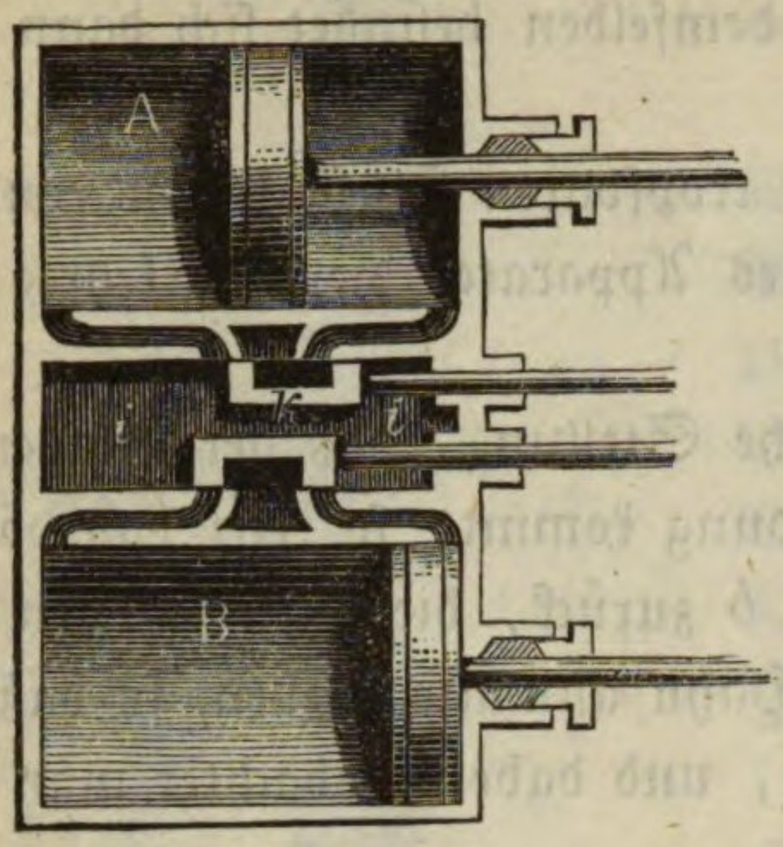
Schiebersteuerung an Locomotiven.

Der Beschreibung der Locomotive auf Seite 319 ist noch beizufügen.

Die Schiebersteuerung ist bei den neueren Locomotiven anders eingerichtet, als es in Fig. 283 gezeichnet ist, weshalb auch statt dieser älteren Einrichtung die jetzige, zu deren Erläuterung Fig. 45 und Fig. 46 auf folgender Seite dienen, näher beschrieben werden soll.

Die Schieber sind bei den neueren Locomotiven nicht über, sondern neben den Cylindern angebracht, wie man dies in Fig. 44 sieht. *i* ist ein Raum in der Mitte zwischen den beiden Cylindern, und in diesen Raum tritt zunächst der Dampf ein. An der rechten und linken Seitenwand dieses Raumes bewegen sich die Vertheilungsschieber, welche zu den beiden Cylindern gehören.

Fig. 44.



In dem Cylinder *A* ist der Kolben gerade in der Mitte seines Weges, der Schieber *k* steht so, daß der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, also den Kolben nach der rechten Seite hintreibt. Dieselbe Stellung des Schiebers ist auch durch Fig. 45 dargestellt, in welcher man den Schieber *k* seiner ganzen Breite nach sieht, wie er von *B* aus erscheint. Links von *k* erscheint die Oeffnung, durch welche der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, als eine dunkle Spalte.

Der Schieber ist an einer Stange befestigt, deren anderes Ende zwischen zwei concentrischen eisernen Bogen *h* gefaßt ist, welche den Namen der Hängtasche führen.

Fig. 45.

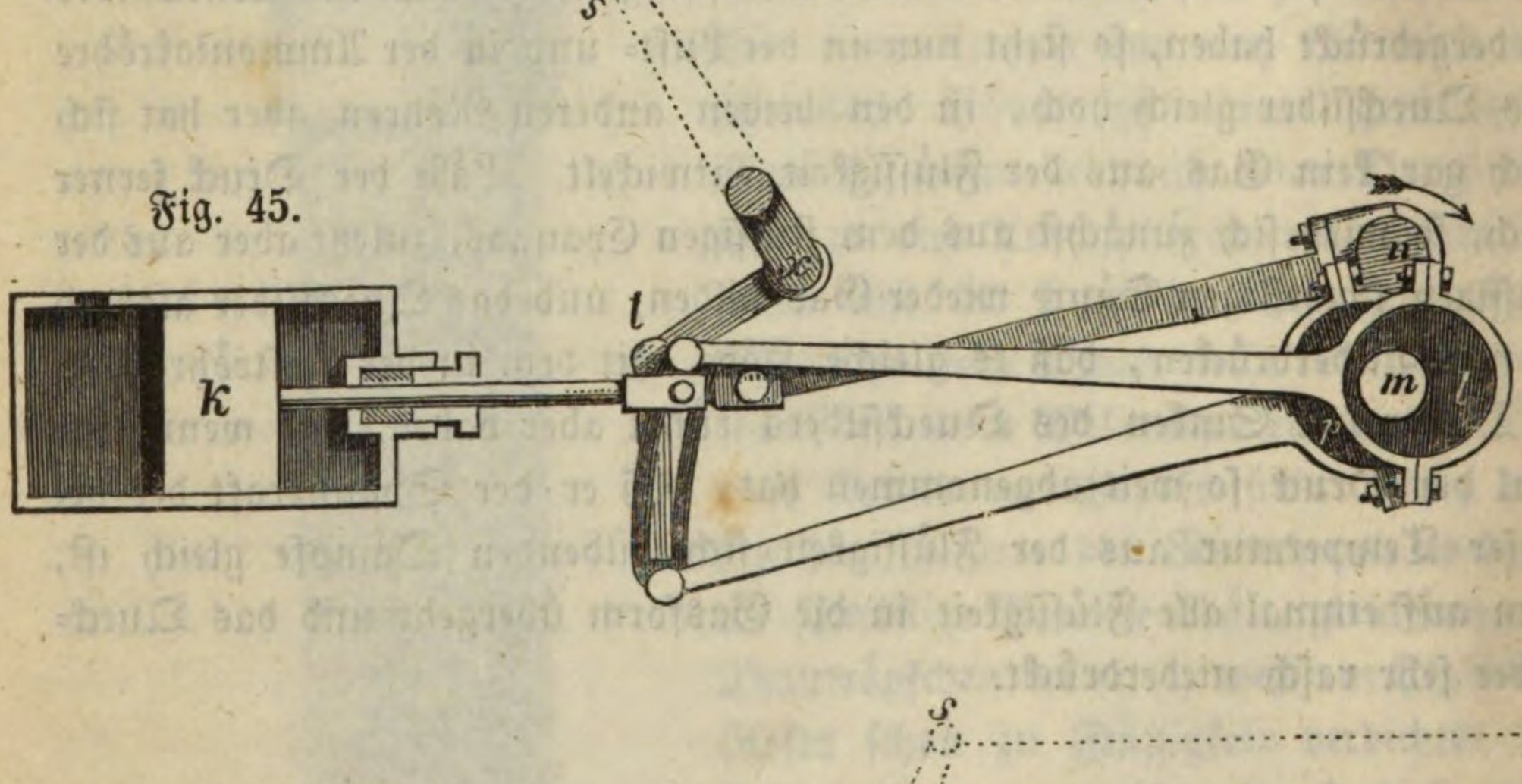


Fig. 46.

Am oberen Ende der Hängtasche ist die Stange der excentrischen Scheibe *l*, am unteren Ende derselben ist die Stange der excentrischen Scheibe *p* befestigt.

Die beiden excentrischen Scheiben sind dicht neben einander, ihre Mittelpunkte aber stehen diametral gegenüber, so daß der eine rechts von der Hauptaxe *m* hängt, wenn der andere auf der linken Seite hängt; wenn *p* oben ist, ist *l* unten u. s. w., wenn also die Stange von *l* nach der rechten Seite geht, so geht die von *p* nach der linken, kurz das obere Ende der Hängtasche wird immer entgegengesetzt dem unteren Ende bewegt.

Wenn die Hängtasche die Stellung Fig. 45 hat, so wird der Schieberstange die Bewegung des oberen Endes der Hängtasche mitgetheilt, der Schieber wird also durch die excentrische Scheibe *l* geführt; wird aber die Hängtasche in die Höhe gezogen, so daß sie die Stellung Fig. 46 bekommt, so wird dadurch die Führung des Schiebers der excentrischen Scheibe *p* übertragen, und dadurch die Richtung, nach welcher sich die Räder drehen, umgekehrt.

Betrachten wir näher, wie es zusammenhängt, daß durch Aufziehen der Hängtasche die Richtung, in welcher sich die Räder drehen, umgekehrt wird.

In Fig. 45 sowohl als in Fig. 46 steht die Kurbel *n* gerade nach Oben, der Kolben steht also gerade in der Mitte des Cylinders.

Die excentrische Scheibe *l* hat gerade ihre äußerste Stellung auf der rechten Seite, und da bei der Stellung der Hängtasche, wie sie Fig. 45 dargestellt ist, die Führung des Schiebers durch *l* geschieht, so hat auch der Schieber die äußerste Stellung rechts, folglich ist der links in den Cylinder führende Kanal frei, der Dampf tritt auf der linken Seite in den Cylinder ein, der Kolben wird nach der Rechten getrieben, die Kurbel bewegt sich also in der Richtung des Pfeils Fig. 45.

Wird nun bei unveränderter Stellung des Kolbens und der Kurbel die Hängtasche in die Höhe gezogen, so ist nun die Stellung des Schiebers *k* durch die excentrische Scheibe *p* bedingt, da aber *p* seine äußerste Stellung links hat, so wird durch Aufziehen der Hängtasche der Schieber nach der linken geschoben, so daß, wie man in Fig. 46 sieht, der nach der rechten Seite in den Cylinder führende Kanal frei wird, der Dampf strömt jetzt auf der rechten Seite in den Cylinder, treibt den Kolben nach der linken, die Kurbel wird also jetzt in der Richtung des Pfeils Fig. 46 gedreht, welche der Drehungsrichtung von Fig. 45 entgegengesetzt ist.

Die Hängtasche hängt an den Winkelhebel *s x t*, dessen Drehpunkt bei *x* ist; wird dieser Winkelhebel durch Ziehen an der Stange *r s* aus der Stellung Fig. 45 in die Fig. 46 gebracht, so wird dadurch die Hängtasche

gehoben; vermittelst des Winkelhebels sxt kann man also die Führung des Schiebers nach Belieben der einen oder der anderen excentrischen Scheibe übertragen, folglich nach Belieben die Bewegung umsetzen.

Von der Elektricität.

Der Beschreibung verschiedener Elektrisirmaschinen ist noch beizufügen die Beschreibung der

Dampfelektrisirmaschine.

Vor einigen Jahren machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sey; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belastung derselben zu ajüstiren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer auf eine isolirende Unterlage gestellten Locomotive fand Armstrong, daß dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, daß man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwicklung möchte wohl durch die Dampfbildung oder seine nachherige Condensation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser und $6\frac{1}{2}$ Fuß Länge. Der Feuerheerd ist im Kessel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser zu einem Schornsteine geführt. Der Apparat ist durch 6 starke Glasfüße isolirt.

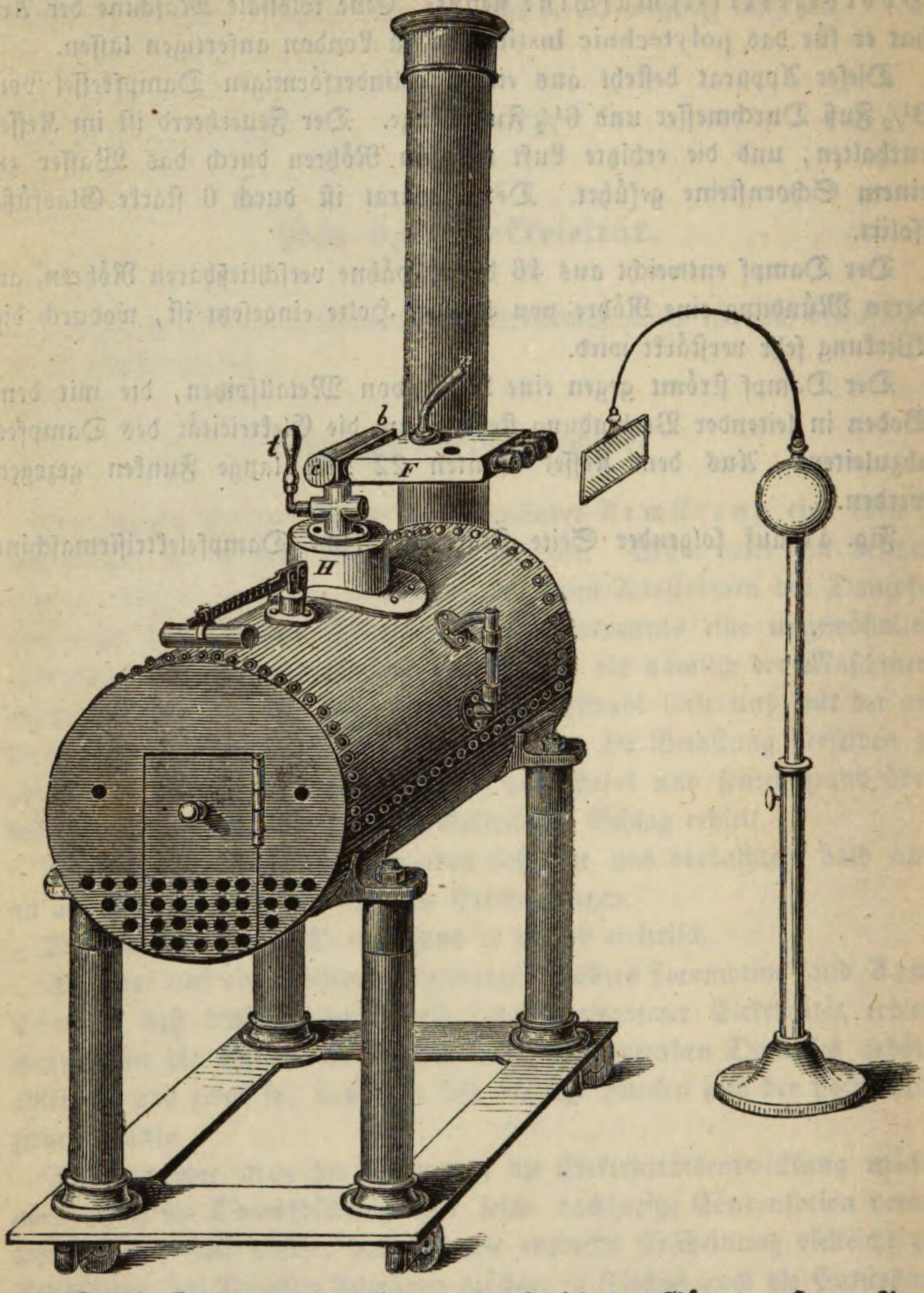
Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Kessel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Fig. 47 auf folgender Seite stellt eine solche Dampfelektrisirmaschine

dar, deren Kessel 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter

Fig. 47.



lang ist; die Zeichnung derselben verdanke ich der Güte des Herrn Professors Eisenlohr in Karlsruhe. Die Feuerung ist innen angebracht, wie man aus dem Durchschnitt Fig. 48 ersieht.

Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses

kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der rechten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so daß man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

In Fig. 49 ist der auf den Kessel aufgeschraubte Apparat mit den Ausströmungsöffnungen besonders abgebildet, und zwar von oben gesehen. Auf den Hals des Dampfkessels wird ein gußeisernes Rohr *b c* von ungefähr 24^{cm} Länge und 5^{cm} Durchmesser aufgeschraubt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch 6 horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen Kasten von Messingblech hindurchgehen, welcher mit kaltem Wasser gefüllt ist, so daß ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Fig. 48.

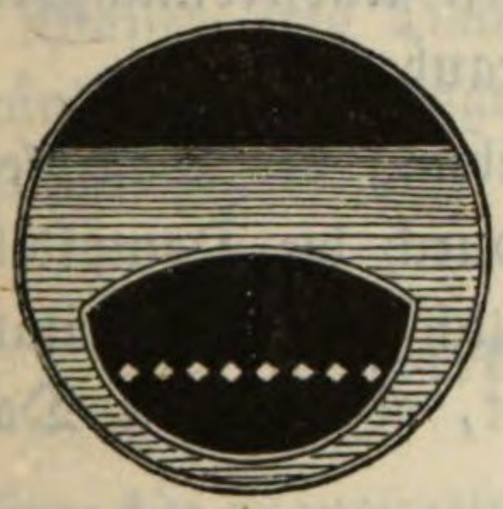


Fig. 49.

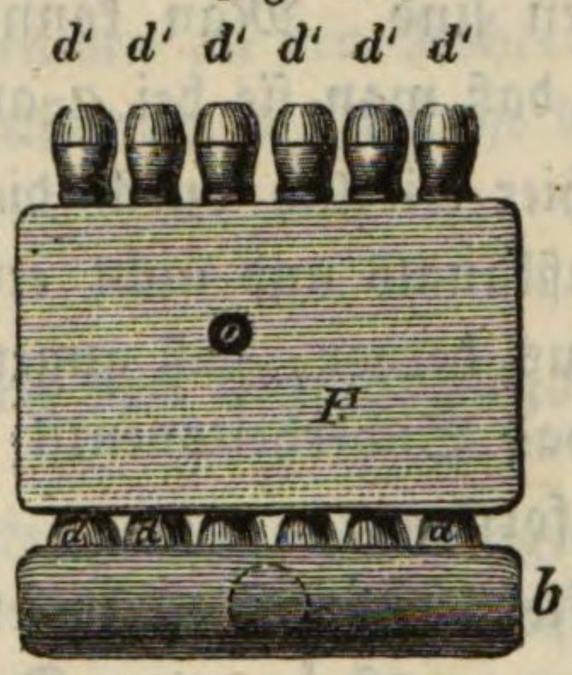
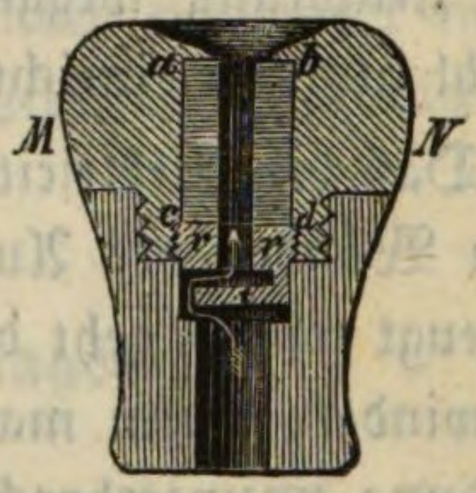


Fig. 50.



Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches bei *n* Fig. 47 in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 50 stellt die in Fig. 49 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in ½ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *M N* eingeschraubt, in welchem Holzpflock *a b c d* steckt, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *M N* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 49 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und

der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *t* Fig. 47, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Stabe befestigt mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Stab steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollständig laden.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben. Um diese anzuschrauben, gehen bei dem beschriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unserer Zeichnung weggelassen sind. Man könnte diese Ausströmungsröhren wohl auch so einrichten, daß man sie bei *a* aufschrauben könnte.

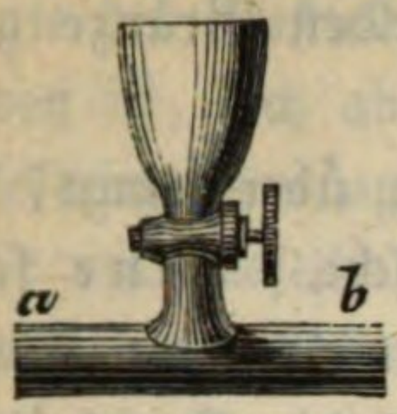
Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden, deshalb der Condensationsapparat *F* Fig. 49. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 51 angedeutet ist. *a b* ist ein Stück des

Fig. 51.



Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn geöffnet und geschlossen werden kann; über diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeit eingegossen wird; sobald man den Hahn öffnet, fließt die Flüssigkeit aus dem Trichter in das Ausströmungsrohr herab.

Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so verliert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

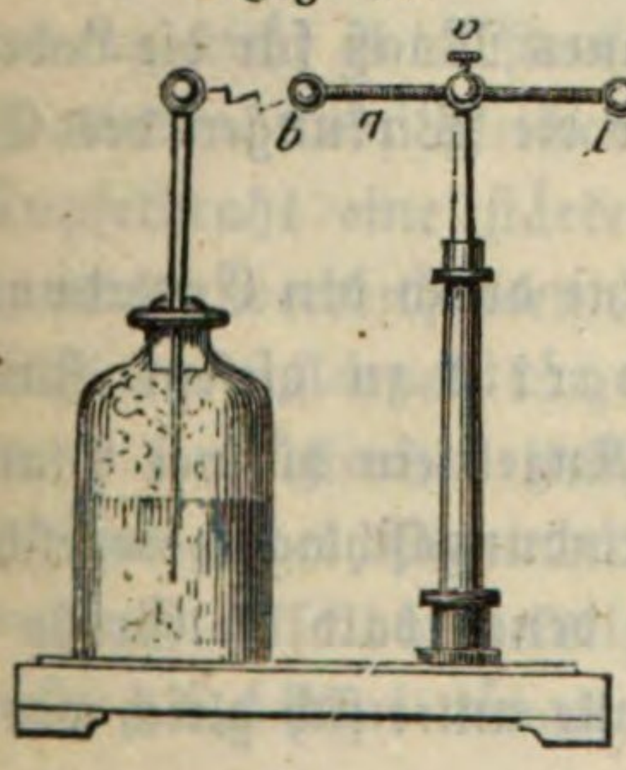
Bringt man durch den Hahn Fig. 51 eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwicklung auf.

Alle diese Umstände beweisen, daß nur in der Reibung der ausströmenden Wasser- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwicklung zu suchen sey.

Wirkungen des Entladungsschlages.

Eine für quantitative elektrische Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fuße, auf welchem die Flasche steht, ist ein vertikaler Stab befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales mit zwei Kugeln endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Mit Hülfe der Schraube *v* kann man die Kugel *b* der Kugel der Flasche beliebig nähern und von derselben entfernen; der Stab *b l* ist eingetheilt, so daß man jederzeit mit Genauigkeit die Entfernung der Kugel *b* von der Kugel der Flasche ermitteln kann.

Fig. 52.



Der horizontale Stab *b l* steht mit der äußeren Belegung der Flasche durch den vertikalen Stab in vollkommen leitender Verbindung.

Wenn man die Kugel *b* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun

bei unveränderter Stellung der Kugel *b* eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt seyn, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel *b* nur $^1/_2$''' weit von der Kugel entfernt war, als wenn diese Entfernung 1''' betrug. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sey, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2=, 3=, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äußere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer großen unisolirten Metalloberfläche in leitende Verbindung. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestoßene positive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äußeren Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maaßflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maaßflasche proportional.

Nachdem sich Rieß auf diese Weise ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verschafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsschlages genauere Versuche anstellen.

Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte er ein schon von Harris zu diesem Zwecke construirtes Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde. Aus einer Reihe von Versuchen, bei denen bald die Größe der Ladung, bald die Anzahl der Flaschen (die aber alle unter sich gleich waren)

verändert wurde, ergab sich, daß die Erwärmung des Drahtes dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional ist, mit welcher die Batterie geladen ist, sich aber umgekehrt wie die Oberfläche verhält, auf welche diese Elektricitätsmenge vertheilt war. Wenn also eine und dieselbe Flasche oder eine und dieselbe Batterie mit der doppelten, dreifachen u s. w. Elektricitätsmenge geladen wird, so ist die Erwärmung, welche der Entladungsschlag in einem dünnen Drahte hervorbringt, 4mal, 9mal u. s. w. so groß. Wenn man aber 2, 3 u. s. w. gleiche Flaschen mit derselben Elektricitätsmenge ladet, so wird die Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsschlag 2mal, 3mal u. s. w. geringer seyn, als wenn mit derselben Elektricitätsmenge nur eine solche Flasche geladen gewesen wäre.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verschiedener gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querschnitten derselben umgekehrt proportional sind.

In einem 2mal, 3mal u. s. w. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16mal, 81mal u. s. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4mal, 9mal größer sind, so ist klar, daß die in demselben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. s. w. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, so wird bei Entladung derselben elektrischen Ladung die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um so geringer, je länger man den Schließungsbogen macht und je dünnere Drähte man in denselben einschaltet; es ist dies wohl, wie Rieß sehr wahrscheinlich gemacht hat, nur die Folge davon, daß durch Einschaltung von dünnen Drähten sowohl als auch durch Verlängerung des Schließungsbogens die Entladung verzögert wird.

Wenn in den Schließungsbogen der Reihe nach mittelst eines Henley'schen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verschiedener Metalle eingeschaltet werden, so wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleich ungleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker, 6,44mal längerer Kupferdraht, der Platin hat also eine 6,44mal

stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6,44mal geringer als die des Kupfers.

Rieß hat die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher von dem Leitungsvermögen der Metalle reden.

Es sind schon früher im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Rieß einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, daß die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag seyn kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Rieß die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes für einen Entladungsschlag, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde, in der Schmelzung erkennt deshalb Rieß eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung von Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weißglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch gar keine Schmelzung, die erst bei noch stärkeren Ladungen auftritt; die Zerreißung geht also der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen steigert sich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff, und diese erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf sehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität schmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

Die Lichtenbergischen Figuren,

welche einen charakteristischen Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten anzudeuten scheinen, lassen sich besonders gut mit der Leidner Flasche darstellen. Man lade die innere Belegung mit positiver Elektricität und lasse dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzscheibe schlagen. Wenn man dann die Harzscheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt ist, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen licopodii, gepulvertes Colophonium u. s. w.), so zeigt der Staub die Form eines strahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzscheibe den negativen Funken vom Knopfe überschlagen, so bildet der aufgepuderte Staub strahlenlose Ringe oder Zonen. Man bedient sich zu den negativen Figuren am besten eines Staubes, der leicht positiv elektrisch wird wie fein zerriebener Mennig.

Lichtenberg setzte, um diese Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Ein positiver Funke liefert eine strahlige Figur, Fig. 54, ein negativer eine ringförmige, Fig. 53. Das anzuwendende Pulver muß recht fein seyn

Fig. 53.

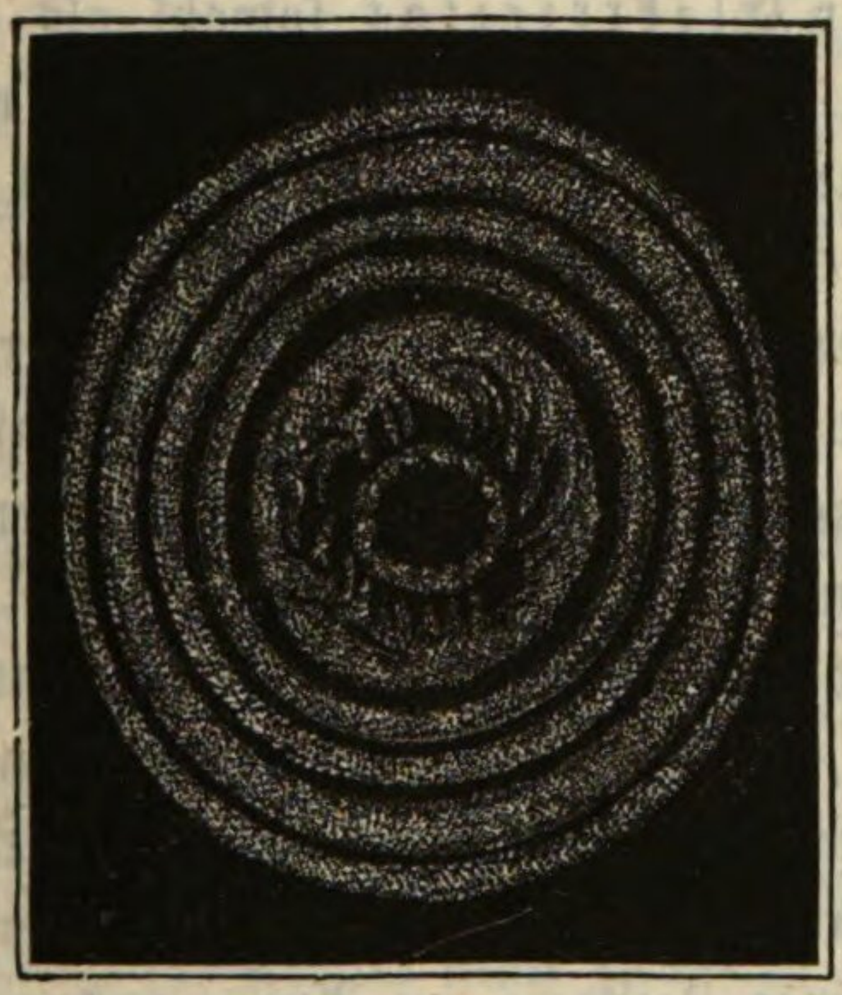
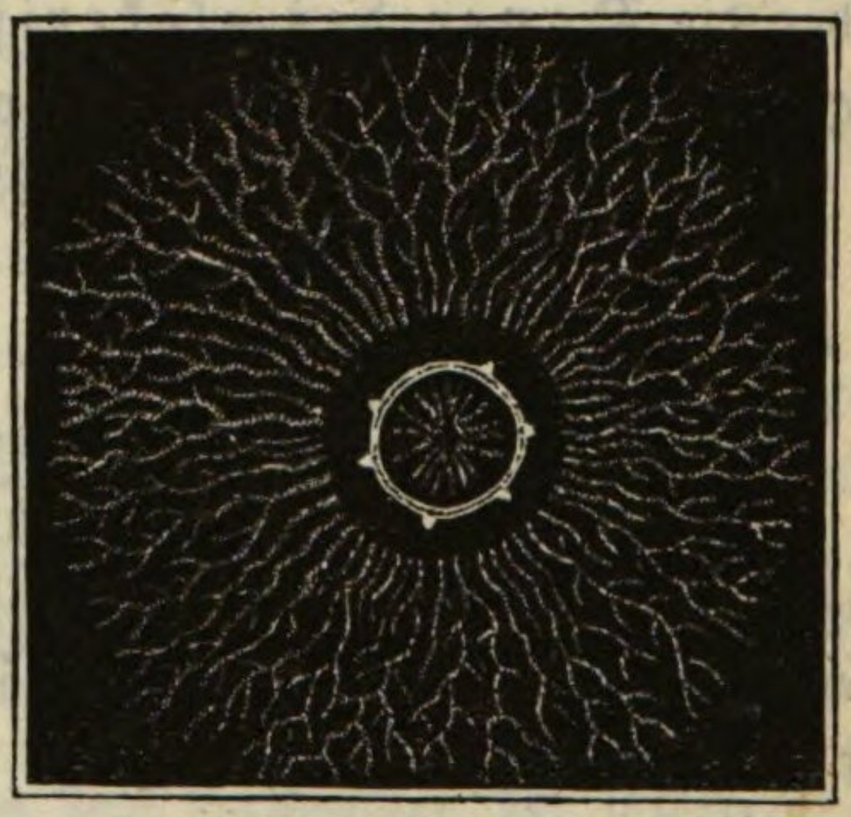


Fig. 54.



und wird am besten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch und setzt sich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

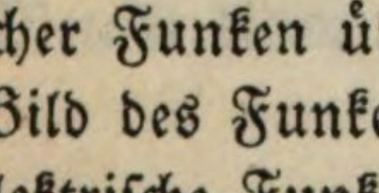
Geschwindigkeit der Elektricität.

Mit Hülfe der Leidner Flasche hat man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Körper verbreitet. Isolirte Metalldrähte, die eine Gesammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsschlage momentan durchlaufen. Diese Versuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trocknem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äußeren Belegung der Flasche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte.

Ueber die Geschwindigkeit der Elektricität sowohl als auch über die Dauer des elektrischen Lichtes hat Wheatstone wichtige Untersuchungen angestellt, von denen hier das Wesentlichste folgt.

Fig. 55.



In Fig. 55 sey *a* ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, *b* sey ein ebener Spiegel, dessen Ebene vertikal steht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, *c* endlich sey das Auge des Beobachters; *abc* sollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge *c* das Bild des Punktes *a* im Spiegel *b* an einer bestimmten Stelle, die sich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer ganz anderen Stelle angekommen ist.

Wenn man nun dafür sorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einen rotirenden Apparat so befestigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50.360}$tel, und also um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$tel Sekunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Sekunde betrüge, so müßte schon sein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flasche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens beträgt also sicherlich nicht $\frac{1}{72000}$tel Sekunde.

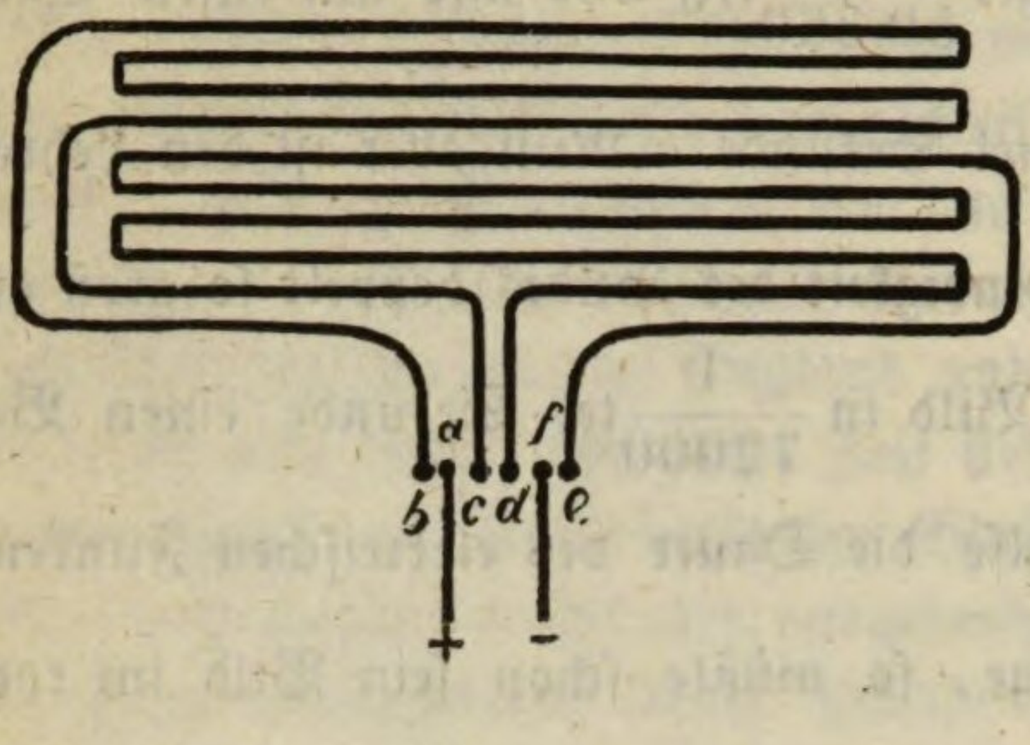
Wenn ein Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden, wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunklen Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektrisirmaschine, so erblickt man zuweilen einen zusammenhängenden Lichtstrom, untersucht man aber denselben in dem Spiegel, so findet man, daß diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatstone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen sehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *abcde* und *f* (Fig. 56) gehörig isolirt befestigt. An

Fig. 56.



der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der inneren Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll die Kugel *f* gegenüberstand, von welcher endlich ein Draht zur äußern Belegung der Flasche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flasche berührt, so mußte, wenn man mit dem an *a* befestigten Drahte die Kugel der Flasche berührte, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Es fragt sich nun, sind diese 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist?

Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso lang war die Länge des Drahtes zweischen *d* und *e*, so daß der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwischen ihnen überspringenden Funken waren also sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45^0 mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die Bilder der drei Funken so ⋮ gesehen haben, bei rascher Rotation aber erscheinen alle drei in die Länge gezogen, und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt, und zwar so ⫴, wenn der Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so ⫴, wenn die Richtung der Rotation die entgegengesetzte war.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

1) Wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ englischen Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen Meilen zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 englische Meilen durchläuft.

Vom Galvanismus.

Die wichtigsten Formen der galvanischen Kette sind in der ersten Auflage schon ziemlich ausführlich beschrieben, sie hat jedoch in der letzten Zeit manche wichtige Verbesserung erfahren, so daß auch hier begreiflicher Weise Nachträge zu machen sind.

Die Form der Grove'schen Batterie, wie sie Seite 453 beschrieben ist, ist sehr unbequem. Eine weit bequemere Form derselben ist Fig. 57 und 58 dargestellt.

Fig. 57.

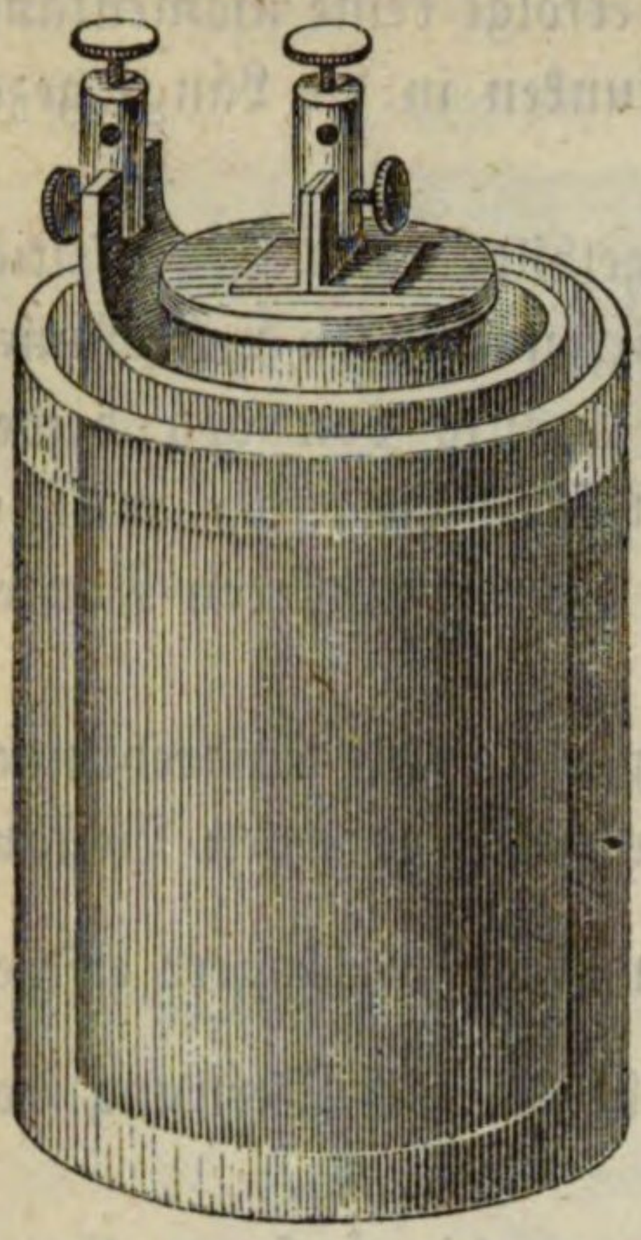
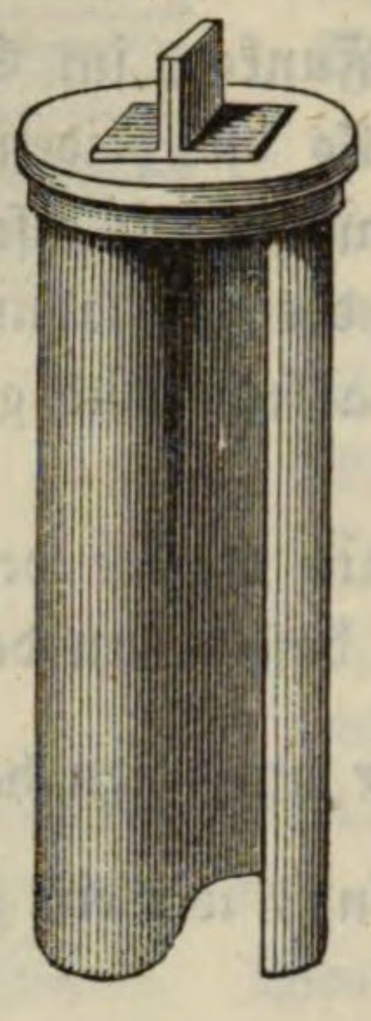


Fig. 58.

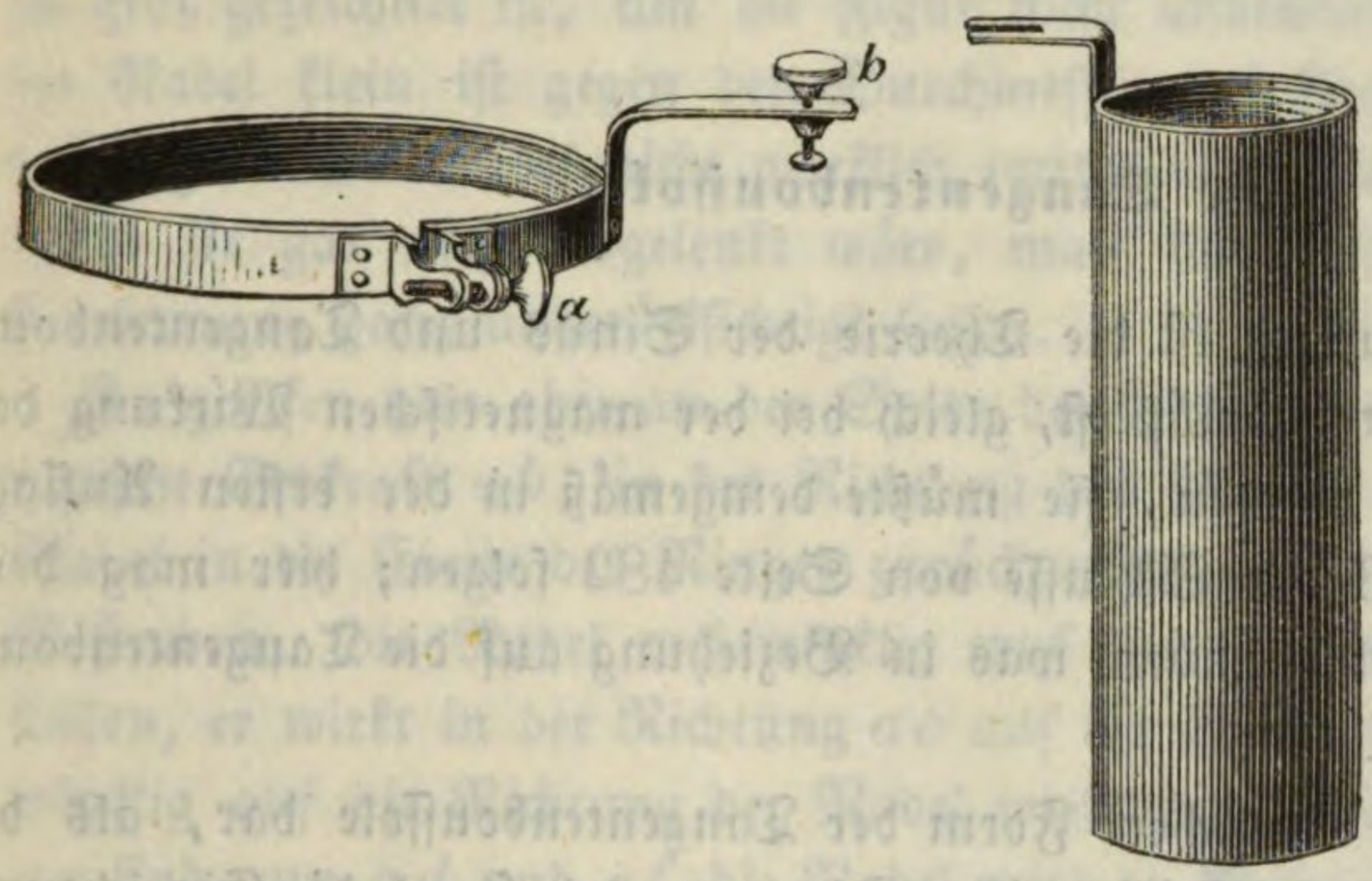


In einem runden Glasgefäße, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, steht der hohle Zinncylinder z. Innerhalb desselben steht ein hohler Cylinder von porösem Thon, dessen Boden aber geschlossen ist. Dieser Thoncylinder, welcher also ein Gefäß bildet, welches Flüssigkeit durchsickern läßt, wird mit Salpetersäure gefüllt, in welche das Platinblech eingetaucht wird. Das Platinblech ist, wie man aus Fig. 58 deutlicher sieht, an einem runden Brettchen befestigt, welches gleichsam den Deckel für die Thonzelle bildet. In diesem Deckel steckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befestigt ist, während oben eine Messingklammer aufgeschraubt wird. Eine ähnliche Messingklammer sitzt auf dem Zinkcylinder. Diese Klammern haben oben runde Löcher, in welche man Draht einstecken und durch die obere Schraube fest einklemmen kann; mit Hülfe dieser Klammer kann man nun leicht das Platinblech des einen Elementes mit dem Zink des folgenden verbinden und so die einzelnen Elemente gleichsam zur Säule vereinigen. Verbindet man dagegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, durch einen zweiten alle Platinbleche, so erhält man eine Combination, welche wirkt wie ein Element von sehr großer Oberfläche.

Auch die Bunsen'sche Batterie hat bedeutende Verbesserungen erfahren. Bei der auf Seite 453 beschriebenen Einrichtung der Bunsen'schen Kette ist es ein Uebelstand, daß der Zinkcylinder in dem einen Glase mit dem Ringe, welcher die Kohle des nächsten Glases umfaßt, in fester Verbindung steht; dadurch wird es nämlich unmöglich, irgend einen Zinkcylinder aus der Flüssigkeit herauszuheben, ohne die ganze Kette vom negativen Pole an auseinander zu nehmen; alsdann ist es bei dieser Einrichtung unmöglich, die einzelnen Elemente unter sich so zu combiniren, daß alle Kohlencylinder und dann alle Zinkcylinder mit einander verbunden sind, so daß man gleichsam ein Element von sehr großer Oberfläche erhält. Diese Nachtheile werden durch folgende Einrichtung gehoben. Statt des Zinkringes *a* in Fig. 413 wird ein Kupferring, welcher Fig. 59 dargestellt ist, um den Kohlencylinder gelegt, und ein festes Anschließen durch die Schraube

a bewirkt; an diesen Kupferring ist ein Kupferstreifen angenietet, an dessen Ende sich eine Schraube *b* befindet. An den Zinkcylinder ist ein Kupferbügel angelöthet, dessen Ende eingeschlitzt ist, so daß man den Zinkstreifen leicht zwischen dem Ende des Kupferstreifens und dem Kopfe der Schraube *b* festklemmen kann, wodurch dann der Ring mit dem Zinkcylinder verbunden ist.

Fig. 59.



Der letzte Kupferring, welcher den positiven, und der letzte Zinkcylinder, welcher den negativen Pol bildet, sind mit längeren Kupferstreifen versehen.

Fig. 60.

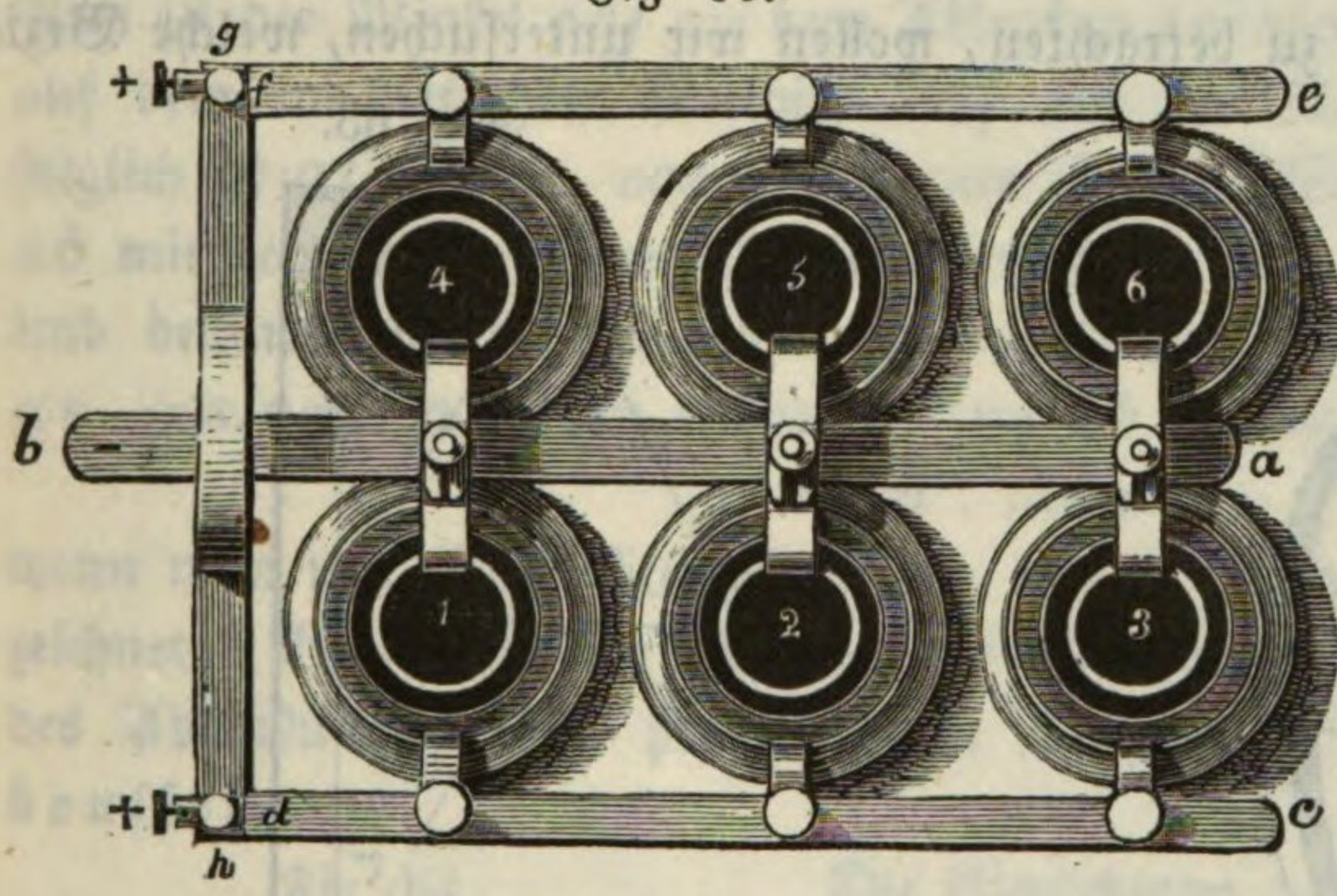


Fig. 60 zeigt 6 Elemente, welche so verbunden sind, daß einerseits alle Kohlen-, und andererseits alle Zinkcylinder verbunden sind, eine Combination welche ebenso wirkt, wie ein einziges Element von 6facher Oberfläche. In Fig. 61 sieht man deutlicher, auf welche Weise der Kupferstreifen *a b* zwischen die Kupferbügel je zweier Zinkcylinder eingeklemmt ist. Der Kupferstreifen *cd* ist zwischen den Enden der an den Kupferringen der Elemente 1, 2 und 3 befestigte Kupferstreifen eingeklemmt; auf dieselbe Weise verbindet der Kupferstreifen *ef* die Kohlen der Elemente 4, 5 und 6. An den Stellen, wo die Kupferstreifen *cd* und *ef* eingeklemmt werden, sind sie natürlich rechtwinklig auf ihre

Fig. 61.

Längenrichtung bis zur Mitte eingeschlitzt, ähnlich wie dies bei den Kupferbügel der Fall ist, welche sich an den Zinkcylindern befinden.

Der Kupferstreifen *ef* ist endlich mit *cd* durch einen Kupferstreifen *gh* verbunden, welcher in der Mitte in die Höhe gebogen ist, damit er *ab* nicht berührt.

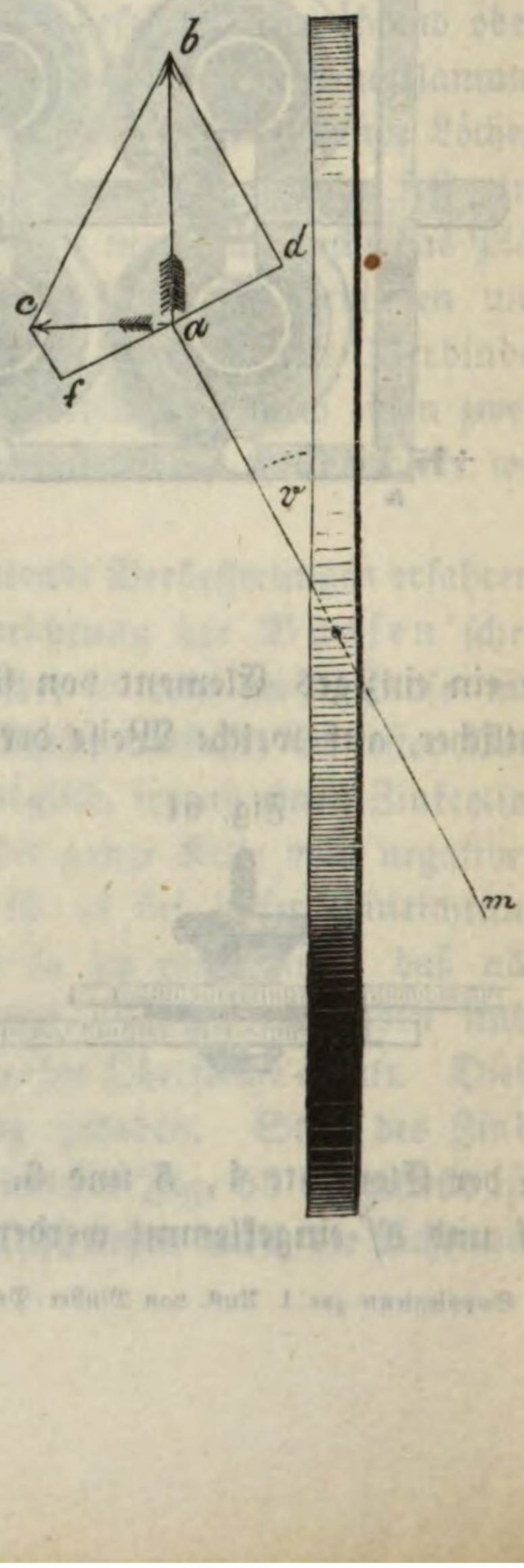
Die Tangentenbouſſole.

In der dritten Auflage ist die Theorie der Sinus und Tangentenbouſsole, wie es auch naturgemäß ist, gleich bei der magnetischen Wirkung des Stromes besprochen worden, sie müßte demgemäß in der ersten Auflage gleich nach Nro. 233 am Schlusse von Seite 482 folgen; hier mag deshalb gleich einiges Platz finden, was in Beziehung auf die Tangentenbouſsole nachzutragen ist.

Fig. 62 stellt eine einfachere Form der Tangentenbouſsole dar, als die welche auf Seite 565 beschrieben ist. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir untersuchen, welche Bezie-

Fig. 62.

Fig. 63.



hung zwiſchen der Stromſtärke und dem Ablenkungswinkel beſteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetiſchen Meridian zuſammenfällt.

In Fig. 63 ſtelle der ſchattirte Streifen den Ring von oben geſehen, *am* die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet iſt, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein iſt gegen den Durchmeſſer des Kreiſes, ſo iſt die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn ſie gar nicht abgelenkt wäre, man kann alſo dieſe Zunahme der Entfernung ganz unberückſichtigt laſſen.

Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an, die magnetiſche Erdkraft ab, in der Richtung des Meridians wirkend, ſtrebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Beſtreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian zu ſtellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab und ac ſind nun ad und af, die Nadel wird in Ruhe ſeyn, wenn $ad = af$. Nun iſt der Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetiſchen Meridian, af auf der Nadel rechtwinklig ſteht, folglich iſt $af = ac \,.\, cos.\, v$. Ferner iſt auch Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetiſchen Meridian und bd mit der Nadel parallel iſt und demnach iſt $ad = ab \,.\, sin.\, v$; da aber $ad = af$, ſo iſt auch $ac \,.\, cos.\, v = ab \,.\, sin.\, v$ oder $ac = ab \,.\, tang.\, v$ oder endlich

$$S = R \,.\, tang.\, v,$$

wenn man mit S die Stromkraft ac, mit R die magnetiſche Erdkraft bezeichnet. Bei dieſem Inſtrumente iſt alſo die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher der Name Tangentenbouſſole.

Fig. 64.

Die Einrichtung der Tangentenbouſſole iſt aus Figur 64 deutlicher zu erſehen. Die beiden Enden ab und cd des ringförmig gebogenen Kupferſtreifens laufen parallel neben einander her und ſind durch einen iſolirenden Streifen von Elfenbein oder trocknem Holze getrennt. Bei b und bei d iſt ein Meſſingſtück angeſetzt, in welches man die von den beiden Polen der Kette kommenden Leitungsdrähte einſchraubt. Wenn der poſitive Strom bei b eintritt, ſo geht er von b nach a, von da im Ring herum nach c, von c nach d, um von da zum negativen Pol der Kette zu gehen.

Dicht unter *a c* gehen die parallelen Kupferstreifen sammt dem sie trennenden Holzstreifen durch einen Holzcylinder *n n* hindurch, in dem sie ganz feststecken, und welcher oben mit einer etwas breiteren Platte *p p* endigt. Dieser Holzcylinder *n n* paßt genau in eine Höhlung des Statifs, die Platte *p* verhindert ein zu tiefes Einsinken in diese Höhlung. Der Holzcylinder *n n* läßt sich nun sammt dem Kupferring mit sanfter Reibung um seine vertikale Axe umdrehen, wodurch es leicht wird, den Ring genau so zu richten, daß seine Ebene in den magnetischen Meridian fällt.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang seyn und der Durchmesser des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchstens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an die Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so daß sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen, und bis zu der Theilung hinreichen. Am leichtesten läßt sich dies machen, wenn der Querschnitt der Nadel die Gestalt Fig. 65 hat, so daß man die Glasfäden in der Rinne auf der oberen Seite der Nadel einlegen und ankitten kann.

Fig. 65.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, daß der Boden der Bousole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in die zum Ablesen richtige Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt.

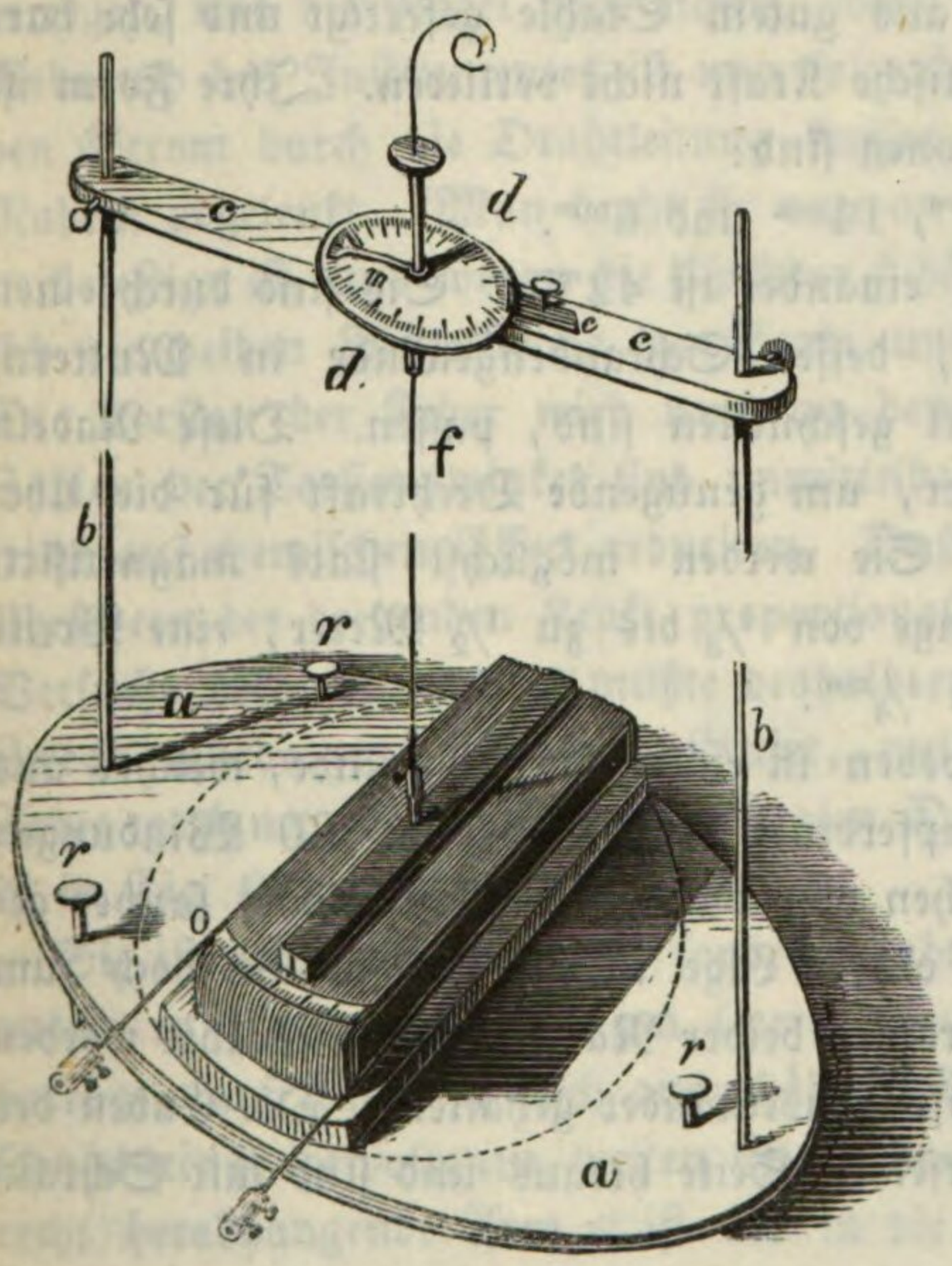
Mohr's Torsionsgalvanometer.

Die Sinusbousole sowohl als auch die Tangentenbousole, welche die einzigen Instrumente sind, welche man bis jetzt zur Messung der galvanischen Stromstärke anwandte, leiden noch an mehrfachen Uebelständen. Die Stromstärke ist bekanntlich nicht der an der Sinus- und Tangentenbousole abgelesenen Gradzahl, sondern einer trigonometrischen Function dieser Gradzahl proportional, man kann also aus den beobachteten Zahlen nur mit Hülfe von trigonometrischen Tabellen auf die Stromstärke schließen. In Folge davon, daß die Stromstärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional ist, entsprechen nun auch gleiche Differenzen in der Gradzahl an verschiedenen Stellen der Theilung nicht gleichen Differenzen der Stromstärke; die Genauigkeit der Angaben ist also für verschieden

starke Ströme nicht mehr gleich. Für die Tangentenbouſſole ſind die Angaben für Ströme, welche nur eine geringe Ablenkung hervorbringen, weit genauer als für ſtärkere Ströme; bei der Sinusbouſſole iſt es umgekehrt. Die Ungleichheit der Genauigkeit der Angaben bei ungleichen Stromſtärken iſt namentlich bei den Tangentenbouſſolen ſehr bedeutend, indem bei ſtarken Ablenkungen eine ſehr große Veränderung der Stromſtärke doch nur eine unbedeutende Veränderung im Ablenkungswinkel zur Folge hat. Die Sinusbouſſole iſt für ſtärkere Ströme gar nicht mehr anwendbar, weil die Nadel gar bald rechtwinklig auf dem Meridian ſteht. Von allen dieſen Uebelſtänden iſt Mohr's Torſionsgalvanometer frei, welches ſich auch dadurch auszeichnet, daß ſeine Conſtruction einfach und leicht auszuführen iſt.

Bei der Aufſuchung einer paſſenden Torſionsſubſtanz traten mehrere Schwierigkeiten entgegen. Seidenfäden haben zu wenig Kraft, Glasfäden zerbrechen bei einigen Windungen, oder ſind ſo dünn, daß ſie keine ſtarke Nadeln tragen. Drähte von Silber, Platin, Eiſen haben nicht Elaſticität genug, um nach mehreren Umdrehungen genau wieder auf 0 zu kommen. Die einzige allen Anforderungen entſprechende Subſtanz war eine gerade geſtreckte Uhrfeder. Sie iſt bei $\frac{1}{2}$ Meter Länge bis zu drei und vier ganzen Umwindungen vollkommen elaſtiſch, d. h. ſie kommt nach dem Nachlaſſen genau wieder auf 0 zurück; ſie beſitzt Feſtigkeit genug, um einer anſehnlichen Drehkraft zu widerſtehen. Nachdem dieſe Subſtanz als tauglich befunden war, wurde die Anfertigung des ganzen Inſtrumentes unternommen.

Fig. 66.



Daſſelbe iſt in Fig. 66 abgebildet.

Auf einem ovalen Brette *a a* von Holz von 550mm und 320mm Durchmeſſer ſind in einer Entfernung von 480mm zwei eiſerne oder meſſingene Ständer *b b* von 10mm Dicke und 650mm Höhe aufgerichtet. Auf dieſen Ständern bewegt ſich das hölzerne Brettchen *c c*, deſſen 3 Dimenſionen 550mm, 60mm und 25mm ſind. Es wird durch zwei

Stellschrauben an die Ständer auf jeder beliebigen Höhe festgeklemmt. Die Mitte des Brettchens *c c* wird genau gesucht, und indem man es über die Ständer *b b* auf das Brett *a a* herabläßt, auch auf dieses genau übertragen. Das Gestell ist alsdann centrirt.

Auf dem Brettchen *c c* bewegt sich mit einem Ansatz in einem Loche ein Theilkreis *d* von 160^{mm} Durchmesser. Er hat eine Theilung in Grade und der Nonius giebt zehntel Grade an. Durch die Arretirung *e* kann er gestellt werden. Mitten durch den Theilkreis und das Brettchen *c* geht ein messingenes Röhrchen von 3^{mm} Oeffnung und geringer Wanddicke. Es trägt auf seiner Mitte den Zeiger mit Nonius *m*, und an seinem oberen Ende eine runde Scheibe mit gerieftem Rande von 50^{mm} Durchmesser, um mit der Hand erfaßt und gedreht zu werden. In das untere Ende der messingenen Röhre wird mit fester Reibung eine hohle Klammer eingeschoben, welche von außen durch eine in einem Ringe befindliche Schraube geschlossen werden kann. Durch die Klammer und die messingene Röhre und Grifffscheibe geht die Uhrfeder hindurch und ragt nach oben heraus, um sie nöthigenfalls noch verlängern zu können. Auch kann man das messingene Röhrchen selbst zu einer Klammer einrichten, dadurch, daß man es aufsägt, die beiden Hälften mit eingelöthetem Halbcylinderchen von Messing ausfüllt, und nun einen Klemmring mit Schraube enge darüber schiebt.

An der Uhrfeder hängt ebenfalls mit einer Klemmschraube das Paar astatischer Nadeln. Sie sind aus gutem Stahle gefertigt und sehr hart gehärtet, damit sie ihre magnetische Kraft nicht verlieren. Ihre Form ist parallelipipedisch, ihre Dimensionen sind:

240^{mm}, 14^{mm} und 6^{mm}.

Ihre lichte Entfernung von einander ist 42^{mm}. Sie sind durch einen messingenen Draht verbunden, dessen Schraubengewinde in Muttern, die mitten in die Magnetnadel geschnitten sind, passen. Diese Nadeln haben einen ansehnlichen Körper, um genügende Drehkraft für die Uhrfeder *f* erzeugen zu können. Sie werden möglichst stark magnetisirt. Die Uhrfeder hat eine freie Länge von $\frac{1}{3}$ bis zu $\frac{1}{2}$ Meter, eine Breite von $1\frac{1}{2}^{mm}$ und eine Dicke von $\frac{1}{4}^{mm}$.

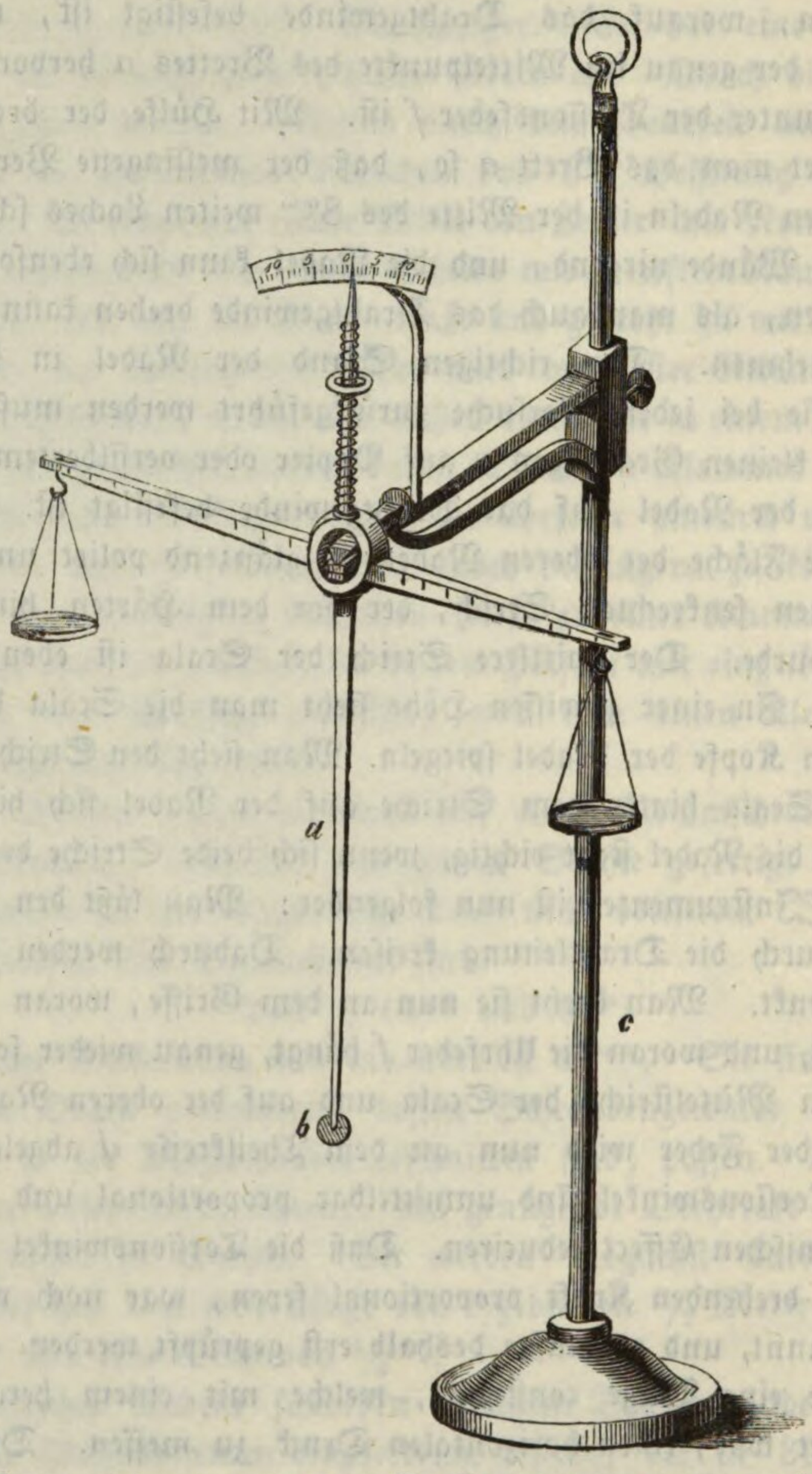
Die astatischen Nadeln schweben in einem Drahtgewinde, welches aus 3^{mm} dickem übersponnenem Kupferdraht besteht, der in 30 Windungen über ein 100^{mm} breites Rähmchen von dünnem Nußbaumholz sauber gewickelt ist. In der Mitte der oberen Lage ist ein 8^{mm} weites Loch zum Durchgange des Verbindungsdrahtes beider Nadeln. Die Drähte werden hier durch Stücke von Korkstopfen auseinander gehalten. Die Enden des Leitungsdrahtes gehen nach derselben Seite heraus und sind mit Schraubenklammern versehen.

Da die Nadel astatisch ist, so wird sie sich so stellen, daß die Feder *f* keine Torsion hat. Man stellt erst den Zeiger *m* auf dem Gradbogen *d* auf Null und läßt die Nadeln zur Ruhe kommen, nun dreht man das Drahtgewinde so lange herum, bis die Nadeln genau in der Mitte des Gradbogens *o* stehen. Um dies leicht zu können, läßt sich das Brettchen, worauf das Drahtgewinde befestigt ist, um einen Stift drehen, der genau im Mittelpunkte des Brettes *a* hervorragt, und also senkrecht unter der Torsionsfeder *f* ist. Mit Hülfe der drei Schrauben *rrr* richtet man das Brett *a* so, daß der messingene Verbindungsdraht der beiden Nadeln in der Mitte des 8^{mm} weiten Loches schwebt. Er berührt dessen Wände nirgend, und die Nadel kann sich ebensowohl ohne Reibung drehen, als man auch das Drahtgewinde drehen kann, ohne die Nadel mitzunehmen. Den richtigen Stand der Nadel in der Ruhe, auf welchen sie bei jedem Versuche zurückgeführt werden muß, erkennt man an dem kleinen Gradbogen *o* auf Papier oder versilbertem Messing, welcher unter der Nadel auf das Drahtgewinde befestigt ist. Die vordere senkrechte Fläche der oberen Nadel ist glänzend polirt und trägt in der Mitte einen senkrechten Strich, der vor dem Härten hineingravirt oder geritzt wurde. Der mittlere Strich der Scala ist ebenfalls stark durchgezogen. In einer gewissen Höhe sieht man die Scala des Kreisbogens sich im Kopfe der Nadel spiegeln. Man sieht den Strich des Nullpunktes der Scala hinter dem Striche auf der Nadel sich hin und her bewegen, und die Nadel steht richtig, wenn sich beide Striche decken. Der Gebrauch des Instrumentes ist nun folgender: Man läßt den zu messenden Strom durch die Drahtleitung kreisen. Dadurch werden die beiden Nadeln abgelenkt. Man dreht sie nun an dem Griffe, woran der Zeiger *m* befestigt ist, und woran die Uhrfeder *f* hängt, genau wieder so weit, daß sich die beiden Mittelstriche der Scala und auf der oberen Nadel decken. Die Torsion der Feder wird nun an dem Theilkreise *d* abgelesen. Die Zahlen der Torsionswinkel sind unmittelbar proportional und lassen sich leicht auf chemischen Effect reduciren. Daß die Torsionswinkel bei flachen Uhrfedern der drehenden Kraft proportional seyen, war noch nicht durch Versuche bekannt, und es mußte deshalb erst geprüpft werden. Zu diesem Zwecke wurde eine Wage construirt, welche mit einem herabgehenden Arme geeignet war, einen horizontalen Druck zu messen. Diese Wage ist in Fig. 67. abgebildet.

Sie ist nicht aufgehangen, sondern ruht mit ihrer mittleren Schneide, welche in einem kreisförmigen leeren Raume des Wagbalkens frei hervorragt, auf einer schwach ausgehöhlten Pfanne, wozu man den Ausschnitt einer gespaltenen weiten Glasröhre gebrauchen kann. Der senkrecht herabhangende Arm *a* ist bis in die Mitte der kleinen Röllchens *b*

doppelt so lang als ein Arm am Balken. Jeder Arm der Wage ist in 10 gleiche Theile eingetheilt, und die Theile durch Zahlen, von der Mitte anfangend, bezeichnet. Die ganze Wage läßt sich an einer messingenen Stange *c* mit schwerem Fuße beliebig hoch stellen.

Fig. 67.



Diese Wage wird nun an das Torsionsgalvanometer gebracht und so weit herunter gelassen, daß die Mitte des Rädchens *b* an dem senkrechten Arme genau auf die Mitte der senkrechten Höhe der oberen Magnetnadel drückt. Der Angriffspunkt der Wage an der Magnetnadel ist $^1/_{10}$ Meter von der Mitte der Nadel entfernt, und wird durch einen Strich bezeichnet. Nachdem nun die Wage dicht an die Magnetnadel gebracht ist, so

daß sowohl die Nadel als der Zeiger der Wage auf ihren Theilkreisen auf 0 stehen, wird der Uhrfeder eine beliebige Torsion gegeben, die auf dem Theilkreise *d* (Fig. 67) abgelesen wird. Die Magnetnadel drückt nun mit dieser Kraft gegen das Rädchen der Wage und schiebt es seitwärts, wodurch ein Arm der Wage in die Höhe steigt. Durch Belastung dieser Seite des Balkens mit genauen Gewichten wird die Wage wieder auf 0 gebracht, und das dazu nöthige Gewicht giebt den horizontalen Druck der Nadel in Grammen oder irgend einem anderen absoluten Gewichte an.

In dieser Art wurden die folgenden Zahlen erhalten:

A	B	C	D
Torsionswinkel.	Aufgelegtes Gewicht in Grammen.	Berechnetes Gewicht in Grammen.	Differenz.
30°	0,170	0,1697	— 1,0003
60°	0,341	0,3394	— 0,0046
90°	0,513	0,5091	— 0,0039
120°	0,678	0,6788	+ 0,0008
150°	0,850	0,8485	— 0,0015
180°	1,010	1,0182	+ 0,0082
210°	1,179	1,1879	+ 0,0089
240°	1,347	1,3576	+ 0,0106
270°	1,521	1,5273	+ 0,0063
300°	1,694	1,6970	+ 0,0030
330°	1,876	1,8667	— 0,0093
360°	2,037	2,0364	— 0,0006
450°	2,565	2,5455	— 0,0200
720°	4,043	4,0728	+ 0,0298
Summa 3510°	19,824		

Columne A ist die absichtlich gegebene Torsion, B das nöthige Gewicht in Grammen, um dieser Torsion das Gleichgewicht zu halten, Columne C ist aus dem Mittel aller Versuche berechnet. Nach Columne A haben 3510° Torsion 19,824 Gramme zur Herstellung des Gleichgewichts erfordert, also würden 30° erfordern: 0,1697.

In dieser Art sind die einzelnen Posten von C berechnet. B von C abgezogen, giebt die Columne D. Da die Zeichen der Differenz theils negativ, theils positiv sind, die Differenzen selbst aber überall sehr klein, so ergiebt das einfache Gesetz für flache bandartige Uhrfedern, was schon

Coulomb für Drähte nachgewiesen hatte, daß: die Kraft, womit die Nadel in ihre ursprüngliche Lage zurückgedrängt werden muß, dem Torsionswinkel genau proportional ist.

Es konnte nun für alle ferneren Versuche diese Wage vollkommen entbehrt, und die Torsionskraft allein als Index der Größe der ablenkenden Kraft benutzt werden.

Um nun dieses Instrument auf ein absolutes Maaß zurückzuführen und die Angaben desselben, wie Thermometergrade, allgemein verständlich zu machen, wurde es mit einer Volta'schen Säule und Zersetzungszelle verbunden, und der Strom der Säule zugleich durch die Zersetzungszelle und das Galvanometer geleitet. Zu diesem Zwecke wurde eine Grove'sche Säule von 8 Elementen angewendet. Die Zellen waren nicht unter sich gleich stark, worauf es auch gar nicht ankam. Die Größe des voltametrischen Effectes wurde mit dem Apparate, Fig. 68, gemessen. *a* ist die Zersetzungszelle, worin der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwickelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Queckfilber gefüllt seyn kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre, Fig. 69, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so daß sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguß dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguß auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre dient zum Erkennen, ob die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schließt jeden Fehler einer Parallaxe aus.

Fig. 68.

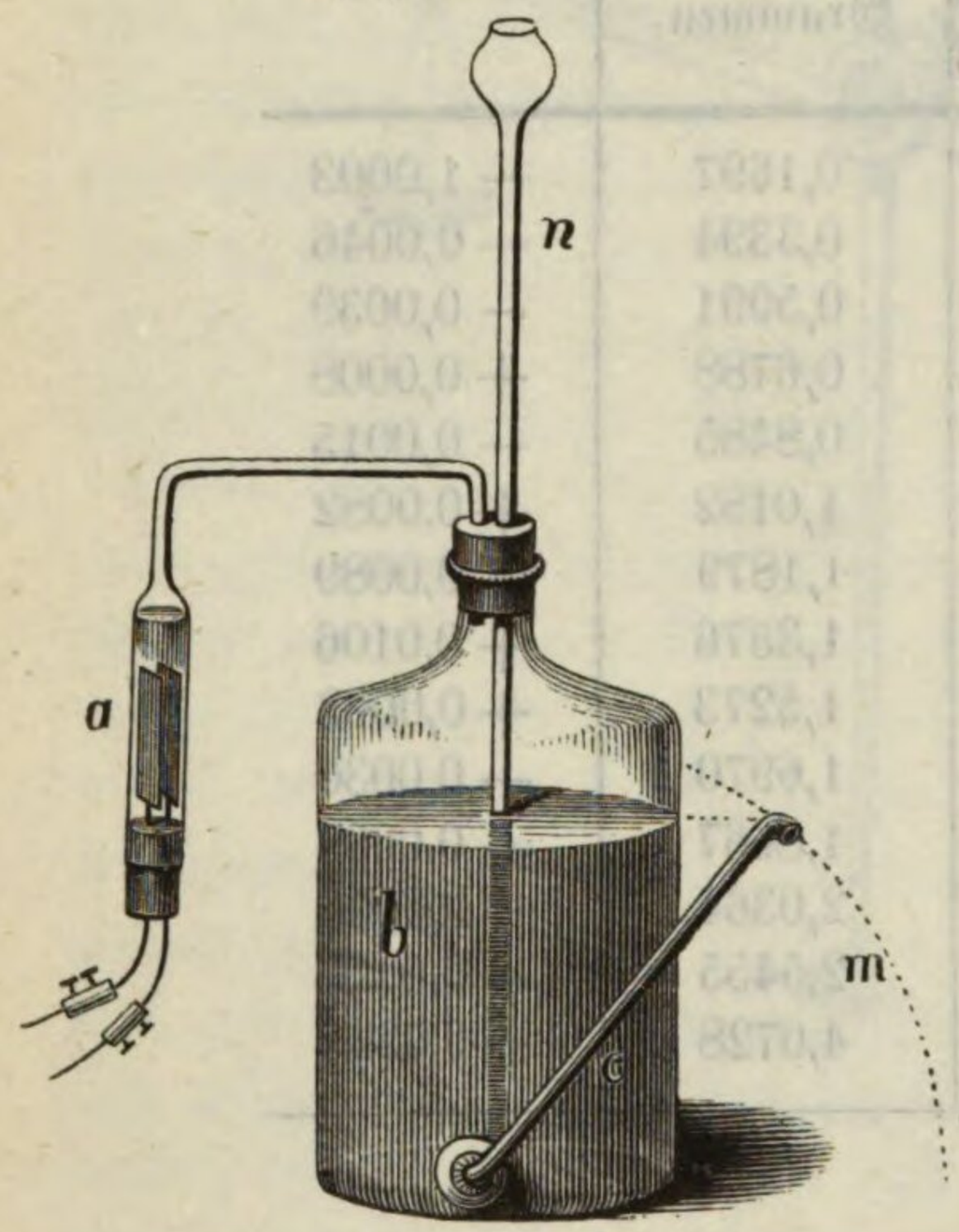
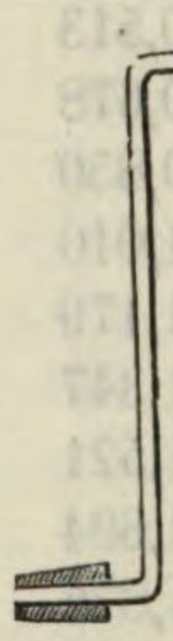


Fig. 69.



Die Messung findet nun ganz leicht Statt. Man schließt den Strom der Scala durch Eintauchen der letzten offenen Verbindung des Apparates und bemerkt den Zeiger an der Uhr. Die Nadel des Galvanometers bringt man durch Torsion genau zum Einstehen und notirt den Torsionswinkel. Die Wasserzersetzung lasse man eine bestimmte Zeit fortdauern und beobachte zugleich an der Nadel, ob der Strom in Quantität nicht schwanke. So wie die Zeit verflossen ist, öffne man die Kette, bringe durch Beugen der Röhre *c* noch so viel Wasser zum Ausfließen, daß die Spannung der Luft innen und außen gleich sey, und bestimme nun die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volum oder Gewicht.

In dieser Art wurden die folgenden Resultate erhalten:

Anzahl der Zellen.	Torsion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in 1 Minute in Cubikcentimeter.	Torsion auf 1 Cubikcentimeter.
8	530	44,5	11,91
8	587	46	12,75
8	429	37	11,60
7	520	41	12,6
7	490	40	12,2
7	409	33,5	12,35
6	423	35	12,08
6	357	30	11,90
5	338	29	11,65
5	337,5	28,5	11,85
5	315	26	12,11
4	277	23,5	11,80
4	263,5	23	11,46
3	181	16	11,31
3	181	15,75	11,50
3	174	15	11,6
2	85	7	12,14
1	nichts	nichts	
	Summa 5896,5	490,75	

Es wurden zuerst 8 Zellen angesetzt, dann immer eine entfernt, bis herunter auf 1, dann wieder steigend bis zu 8 eine zugesetzt. Die letzte Reihe von Versuchen fiel wegen Abstumpfung der Säure etwas schwächer aus. Die Resultate sind nach der Anzahl der Zellen geordnet. Die vierte

Columne ist durch Division mit der dritten in die zweite erhalten. Die Quotienten der vierten Columne sind sich so sehr unter einander gleich, daß man daraus den unbezweifelten Schluß ziehen kann, daß bei jeder Stärke des Stromes die ablenkende Kraft des Stromes vollkommen dem chemischen Effecte proportional ist.

Addiren wir nun die zweite und dritte Columne einzeln, und dividiren mit der Summe der dritten Columne (= 490,75) in die Summe der zweiten Columne (= 5896,5), so erhalten wir als Mittel, daß bei dem vorliegenden Instrumente als Individuum betrachtet: 12,015 Grade Torsion einen chemischen Effect von 1 Cubikcentimeter gemischter Gase per Minute repräsentiren.

Ich stellte nun auch noch eine Daniell'sche Säule aus 8 Elementen zusammen, und ließ die Zersetzung 5 Minuten dauern. Dabei wurden folgende Resultate erhalten:

Zahl der Elemente.	Torsion des Galvanometers.	Cubikcentimeter gemischtes Gas in 5 Minuten.
8	28	12
8 später	23½	10
7	25	10
6	19¾	8
5	15	6
4	10	4
3	(4)	unermeßbar
2	nichts	nichts
	Summa 121,25	50

121,25 getheilt durch 10 (welches die in 1 Minute entwickelte Gasmenge ist) giebt 12,125 Grade Torsion für 1 Cubikcentimeter gemischtes Gas, eine Zahl, die so genau mit jener bei der Grove'schen Säule erhaltenen zusammenfällt, daß dadurch ihre Richtigkeit für jede Art von Säulen feststeht. Schenken wir nun der ersteren Zahl 12,012 das größere Zutrauen, so haben wir nur noch eine Tafel zu berechnen, um jede Art von Strom, die durch Torsion gemessen werden kann, sogleich nach chemischem Effect zu bestimmen, selbst wenn der Strom nicht Intensität genug besitzt, eine Zersetzungszelle zu durchdringen.

Wenn 12° Torsion 1 Cubikcentimeter gemischtes Gas per Minute repräsentirt, so ist:

1° Torsion = 0,0833 Cubikcentimer
2° » = 0,1666 »
3° » = 0,2499 »
4° » = 0,3333 »
5° » = 0,4165 »
6° » = 0,5000 »
7° » = 0,5833 »
8° » = 0,6666 »
9° » = 0,7500 »

Mit diesem Täfelchen, welches freilich nur zu Mohr's Instrumente paßt, läßt sich jeder Strom in absolutem Volumenmaaß des in 1 Minute gelieferten gemischten Gases ausdrücken. Ein Strom von 945° Torsion würde die Zahl 78,7497 kcm erhalten, denn

900 = 75,00
40 = 3,333
5 = 0,4165

945 = 78,7495.

Da nun die begründenden Versuche ein für allemal gemacht sind, so hat Jeder, der ein solches Galvanometer construirt hat, nur folgenden einfachen Versuch zu machen. Man stelle eine Säule zusammen, lasse sie Wasserzersetzung eine gemessene Zeitlang bewirken, messe den Strom durch die Torsion des Galvanometers und das Volum der Gase, so erfährt man durch eine einfache Division, wie viel Grade Torsion einem Cubikcentimeter gemischter Gase entsprechen. Das kleine Täfelchen erleichtert die Anwendung, indem es einzelne Berechnungen in bloße Addition verwandelt. Es ist nicht verwehrt, Correctionen der Feuchtigkeit, Wärme und des Barometerstandes anzubringen; doch werden die Versuche am bequemsten vergleichbar sein, wenn sie bei einer mittleren Zimmertemperatur von 12° R. gemacht werden. Die vorliegenden sind bei 28 Zoll Barometerstand angestellt worden, und bedürfen deshalb keiner Correction.

Derselbe Strom muß nun aber noch, um ihn vollständig zu erkennen, nach Intensität oder Spannung gemessen werden. Das passendste Instrument dazu ist das Rheometer oder der Rheostat von Wheatstone, der aber nicht so leicht von seinen Besonderheiten entkleidet werden kann. Mohr schlägt folgenden allgemeinen Ausdruck vor. Um einen bestimmten Strom auf die Hälfte seiner Quantität zu reduciren, müssen so und so viele Meter eines so und so dicken Drahtes eingeschaltet werden.

Die wirkliche Quantität des Stroms wird unmittelbar durch Torsion am Galvanometer gemessen. Diese Zahl durch 2 dividirt, giebt die Hälfte der Quantität, worauf man den Zeiger des Galvanometerkreises einzustel-

len hat. Nun schalte man den Draht des Rheostats ein, bis die Nadel des Galvanometers wieder auf 0 steht. Die eingeschaltete Drahtlänge ist das Maaß der Intensität in einem conventionellen Drahte ausgedrückt. Hier liegt aber die Schwierigkeit. Woher nehmen wir einen Draht von einer bestimmten Dicke und Leitungsfähigkeit? Aus diesem Grunde erlangt der Rheometer niemals die Bestimmtheit der Angaben des Galvanometers mit Torsion. Wheatstone empfiehlt als Grundmaaß (Standard) einen Kupferdraht, wovon 1 Fuß 100 Gran Gewicht hat. In gleicher Art könnte man zweckmäßiger Meter und Gramm einführen. Kupfer hat den Nachtheil, zu gut zu leiten und dadurch bedeutende Längen zu erfordern. Passender möchte Platin seyn, da Messing als Legirung nicht immer gleiche Mischung haben wird.

Der ganze Ausdruck für einen elektrischen Strom wird demnach folgender seyn:

Seine Quantität ist gleich soviel Kubikcentimetern gemischter Gase per Minute, und seine Intensität eine solche, daß er durch ein eingeschaltetes Stück von so viel Metern Länge, und von solcher Dicke und Substanz auf die Hälfte seiner Quantität reducirt wird. Ist ein solcher Draht conventionell festgesetzt, so ist der Ausdruck für jeden Strom, mit beispielsweisen Zahlen:

Q (Quantität) = 78,7495 Kub.-Centimeter.
J (Intensität) = 31,57 Meter.

Magnetisirung durch den galvanischen Strom.

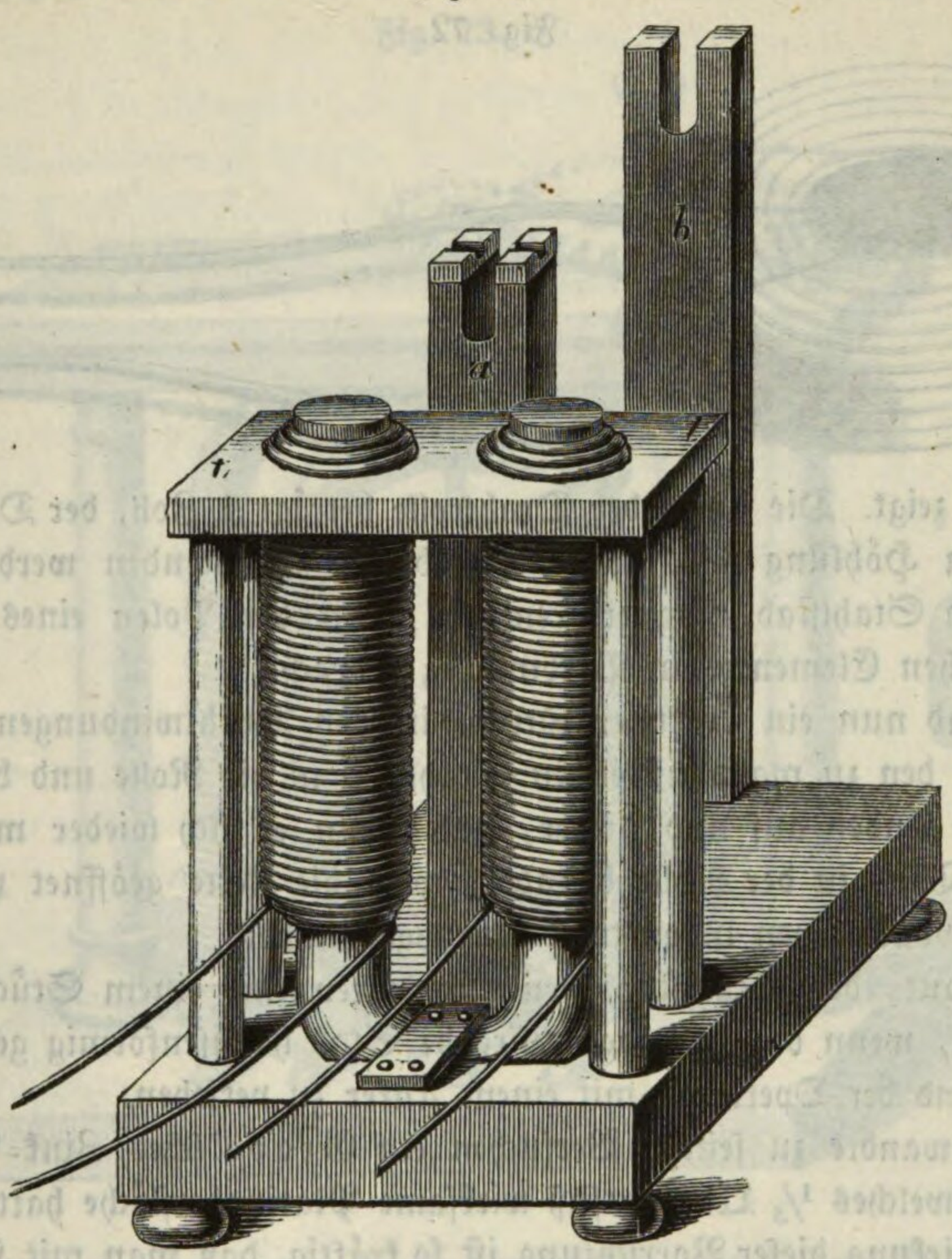
Um Versuche über die Wirkung kräftiger Elektromagnete auf diamagnetische Körper, von denen weiter unten die Rede seyn wird, zu machen, muß man dem Elektromagneten eine andere Aufstellung geben, als es bisher üblich war, wo man es in der Regel nur darauf absah, ihre starke Tragkraft zu zeigen. Während man bis jetzt die Pole der Elektromagneten meist nach unten gekehrt hatte, müssen sie für die fraglichen Versuche nach Oben gekehrt seyn.

Professor Plücker hat viel Versuche über Diamagnetismus gemacht, die ich weiter unten noch näher erwähnen werde; nach seinen Angaben hat der Mechanikus Etter in Bonn einen sehr zweckmäßigen Apparat construirt, der im Wesentlichen in Fig. 70 jedoch dahin abgeändert gezeichnet ist, daß er auch dienen kann, um die starke Tragkraft der Elektromagnete zu zeigen.

Die Einrichtung des Apparates ist aus der Figur ohne weitere Erklärung verständlich; jeder Arm des Uförmigen Eisens hat seine besondere Umwickelung, was den Vortheil hat, daß man die beiden Arme auch

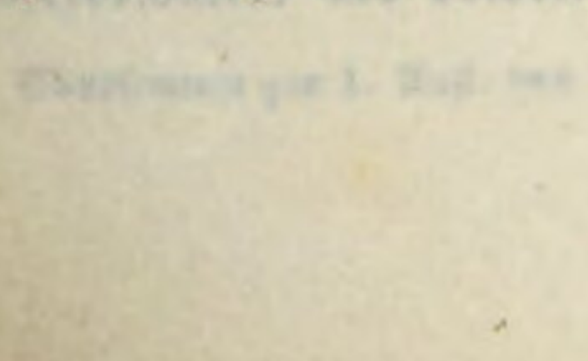
gleichförmig magnetisiren, also beide Arme in Nordpole oder beide in Süd-

Fig 70.



pole verwandeln kann, was für manche Untersuchungen von Wichtigkeit seyn könnte.

Fig. 71.

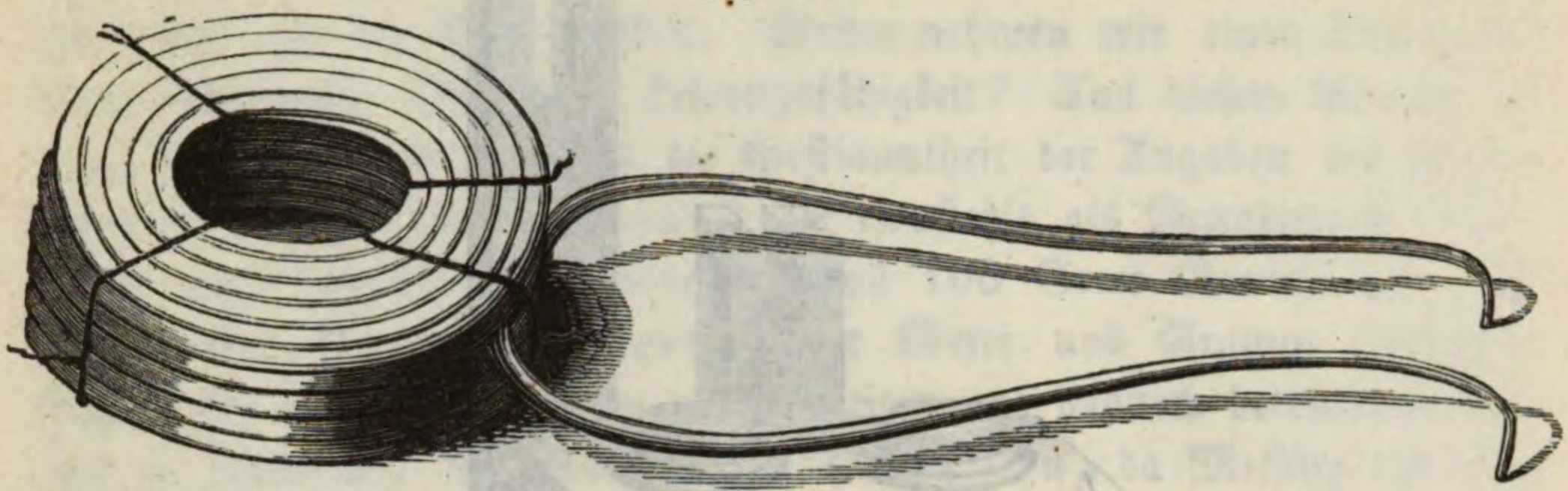


Um die Tragkraft des Elektromagneten zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 71; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgerissen wird.

Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Eine zu diesem Zweck besonders geeignete Vorrichtung ist die in Fig. 72 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Ein ungefähr 25 Fuß langer, 1/8 Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann zu einer Drahtrolle gewunden, wie

Fig. 72.



die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmesser der innern Höhlung 1½ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlstab magnetisiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'schen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden auf und nieder, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theil in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab vollkommen magnetisirt herausgenommen.

Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisen und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Elias wandte zu seinen Versuchen ein Grove'sches Zink-Platinelement an, welches 1/3 Quadratfuß wirksame Platinoberfläche hatte.

Die Wirkung dieser Vorrichtung ist so kräftig, daß man mit Hülfe derselben die Pole eines starken Magnetstabes stets umkehren kann.

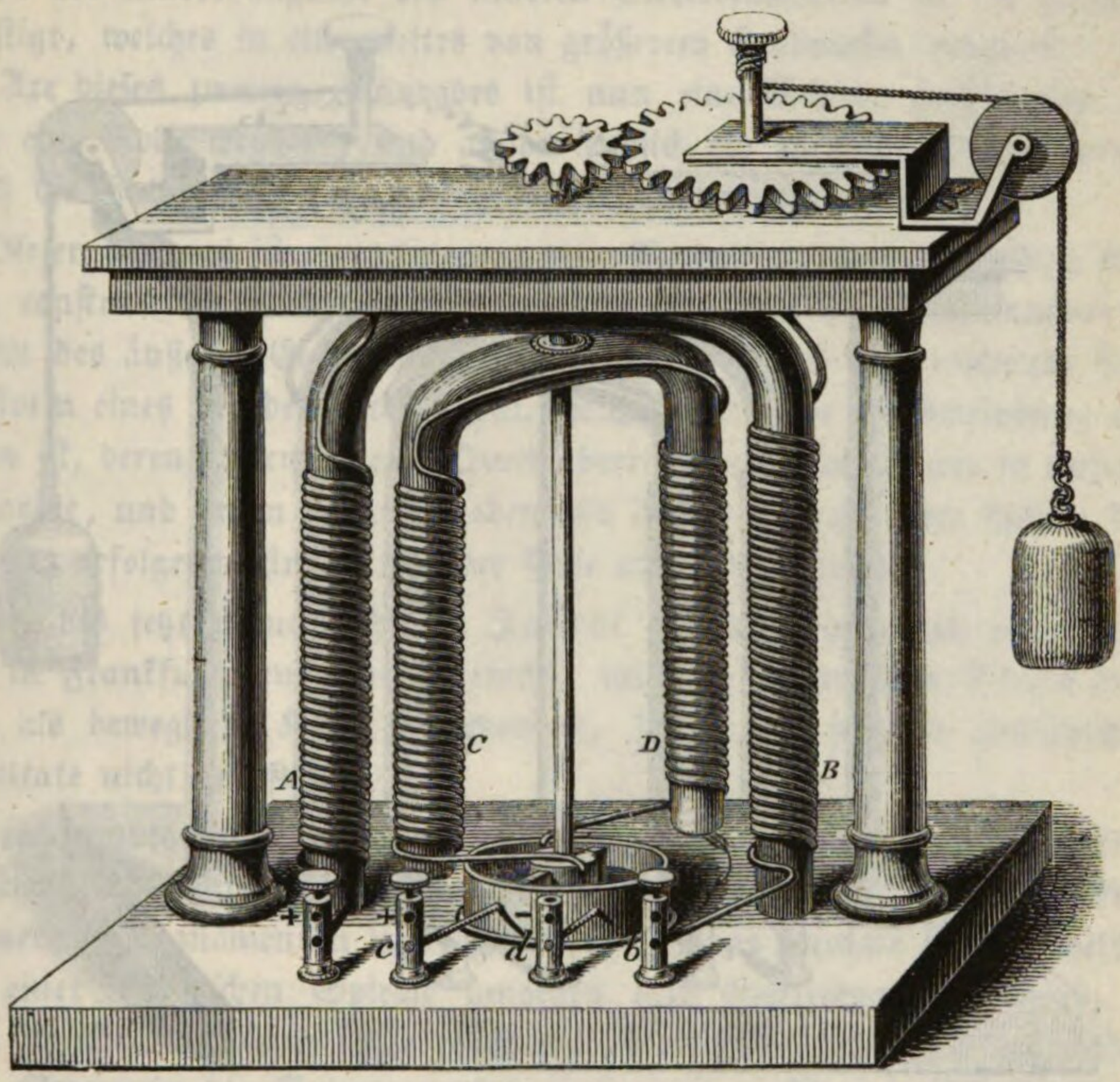
Benutzung des galvanischen Stromes als bewegende Kraft.

Die kräftigen magnetischen Wirkungen, welche der elektrische Strom hervorzubringen im Stande ist, führten auf die Idee, denselben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 73 zeigt einen Apparat, welcher sehr geeignet ist, zu zeigen, wie man durch die magnetisirende Wirkung des galvanischen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

AB ist ein hufeisenförmig gebogenes, an dem Gestelle befestigtes weiches Eisen, welches mit Kupferdraht in der Weise umwickelt ist, wie ein Elektromagnet. Das eine Ende des Drahts geht zu dem Messingsäulchen *a*, das andere nach *b*, in *a* und *b* werden aber die Poldrähte eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt, und dadurch das Eisen *AB* zu einem Magnete gemacht.

Innerhalb des Hufeisens AB ist ein ähnliches kleineres CD angebracht, welches um eine vertikale Axe drehbar ist. Auch dieses Eisen CD ist mit

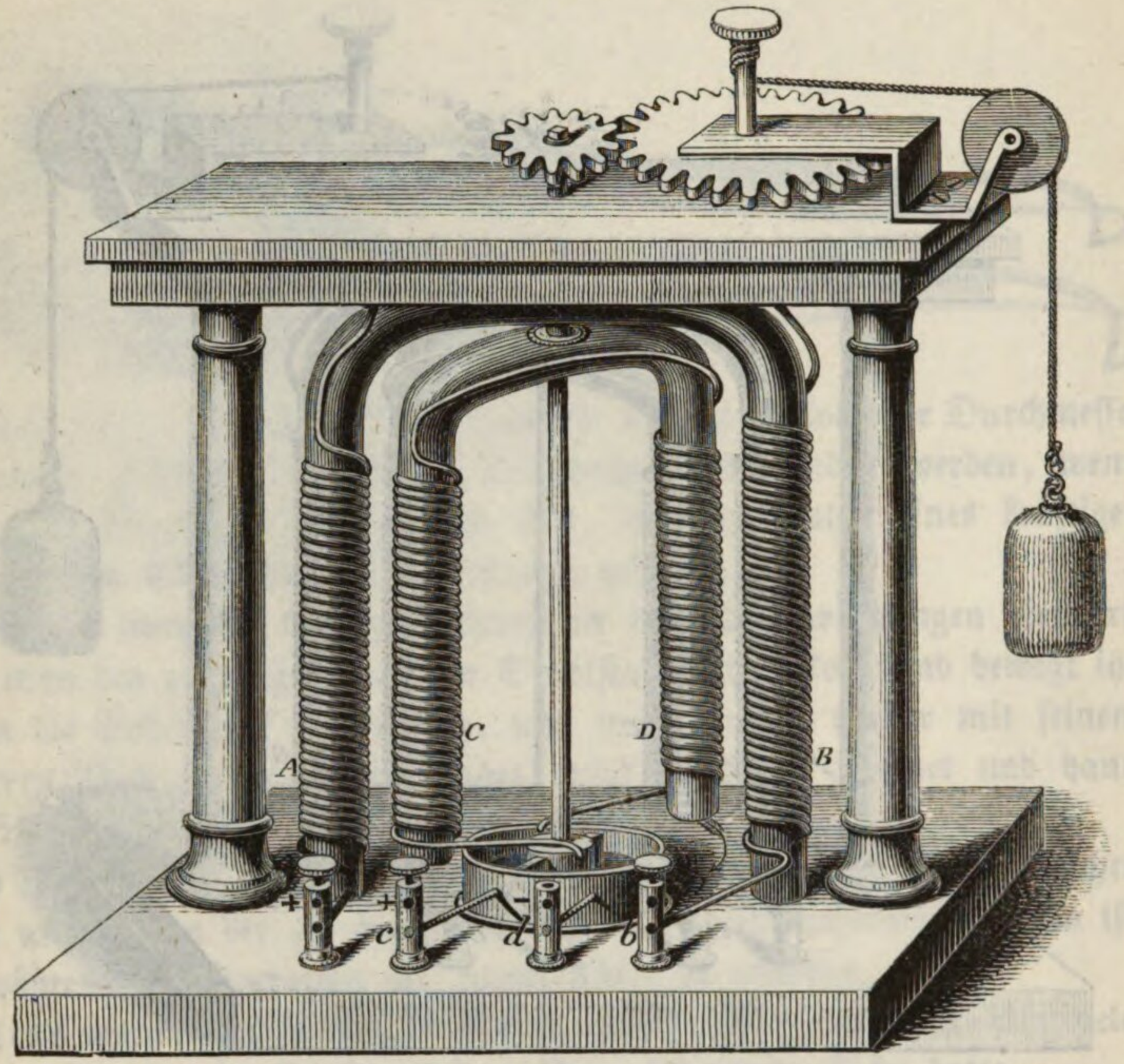
Fig. 73.



Kupferdraht in der bekannten Weise umwunden, die beiden Enden dieses Drahtes tauchen aber in eine mit Queckſilber gefüllte hölzerne ringförmige Rinne herab. Dieſe Rinne iſt nun durch zwei Scheidewände von Holz oder Elfenbein in zwei Abtheilungen getheilt; die eine iſt durch einen Kupferdraht mit dem Meſſingſäulchen c, die andere mit dem Meſſingſäulchen d in leitender Verbindung (in c und d werden die beiden Poldrähte einer einfachen Kette angeſchraubt). Die beiden Abtheilungen der Rinne ſind nun mit Queckſilber ſo weit gefüllt, daß das Niveau deſſelben in jeder Abtheilung zwar über die Scheidewände hinausragt, daß es aber doch nicht aus einer Abtheilung in die andere überfließen kann, was ſehr leicht möglich iſt, weil das Queckſilber in jeder Abtheilung gleichſam einen convexen Tropfen bildet. Die beiden Drahtenden des Elektromagneten CD gehen nur gerade ſo weit herab, daß das eine in das Queckſilber der einen, das andere in das Queckſilber der andern Abtheilung eintaucht, daß ſie aber während der Rotation des Elektromagneten CD ohne Hinderniß über die Scheidewände der beiden Abtheilungen hinweggehen.

Bei der in Fig. 74 abgebildeten Stellung des Elektromagneten *CD* geht nun, wenn in *c* der positive und *d* der negative Poldraht eines

Fig. 74.



kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt wird, der positive Strom von *c* in die linke Abtheilung der Rinne, von da durch den Kupferdraht um das bewegliche Hufeisen herum von *D* nach *C*, von *C* aus in die rechte Abtheilung der Rinne und von dieser nach *d*. Bei dieser Stellung wird der Pol *C* von *A*, und *D* von *B* angezogen, wodurch eine rotirende Bewegung des Elektromagneten *CD* eingeleitet wird. Wenn aber nun *C* eben bei *A* und *D* bei *B* ankommt, so gehen die beiden Drahtenden des inneren Elektromagneten über die Scheidewände hinweg; der Strom, welcher *CD* magnetisch macht, wird für einen Moment unterbrochen, sobald aber die Drahtenden aus einer Abtheilung in die andere übergegangen sind, geht der Strom durch den um *CD* gewundenen Kupferdraht in entgegengesetzter Richtung hindurch, der Pol *C* wird nun von *A*, *D* von *B* abgestoßen, während sich *C* und *B*, *D* und *A* anziehen, dadurch wird die Rotation des inneren Elektromagneten fortgesetzt, bis *C* bei *B* und *D* bei *A* ankommt, wo alsdann durch eine abermalige Umkehrung der Pole des in-

neren Elektromagneten die Rotation desselben in unveränderter Richtung fortgesetzt wird.

An der Umdrehungsaxe des inneren Elektromagneten ist ein Zahnrad befestigt, welches in ein zweites von größerem Halbmesser eingreift. Um die Axe dieses zweiten Zahnrades ist nun eine Schnur geschlungen, die über eine Rolle weggeht, und an der endlich ein Gewicht hängt, welches durch die Rotation des inneren Elektromagneten gehoben wird.

Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Vervollkommnung des von Ritchie construirten Rotationsapparates, bei welchem ein Stahlmagnet die Stelle des äußeren Elektromagneten ersetzt, während das rotirende Eisen die Form eines geraden Stabes hat, welcher mit einer Drahtwindung umgeben ist, deren Enden in eine Queckſilberrinne eintauchen, wie in unserem Apparate, und dessen Rotation ebenfalls durch die nach jeder halben Umdrehung erfolgende Umkehrung der Pole unterhalten wird.

Die bis jetzt namentlich von Jacobi in Petersburg und von Wagner in Frankfurt gemachten Versuche, um den galvanischen Strom praktisch als bewegende Kraft anzuwenden, haben bis jetzt die gewünschten Resultate nicht geliefert.

Ein Hauptgrund, daß man namentlich mit größeren Apparaten keine günstigen Resultate erhielt, liegt darin, daß der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Selbst das weichste Eisen, welches von einer elektrischen Spirale umgeben zum Elektromagneten wird, ist nicht im Stande, seine Pole so schnell zu wechseln, als man den elektrischen Strom in der Spirale umkehren kann; je größer die Eisenmasse ist, desto träger ist sie in dieser Beziehung, und daher kommt es auch, daß größere Apparate verhältnißmäßig schlechtere Resultate geben als kleinere Modelle.

Diesen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eisens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer auf eine sehr sinnreiche Weise zu umgehen gewußt, indem er die Rotation eines Elektromagneten, dessen Pole nicht gewechselt werden, durch den Polwechsel einer elektrischen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet rotirt.

Fig. 75 stellt den Stöhrer'schen Apparat dar. *a* und *b* sind zwei längliche Rahmen, welche von übersponnenem Kupferdraht gebildet sind, welcher ungefähr 1 Linie im Durchmesser hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, sind durch den gebogenen Draht *c* mit dem des unteren verbunden; die Windungen beider Rahmen sind der Art, daß ein elektrischer Strom beide in gleicher Richtung durchläuft. Der ganze aus Drahtwindungen gebildete Rahmen ist mit seidenem Band umwickelt.

Zwischen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen ist ein solcher

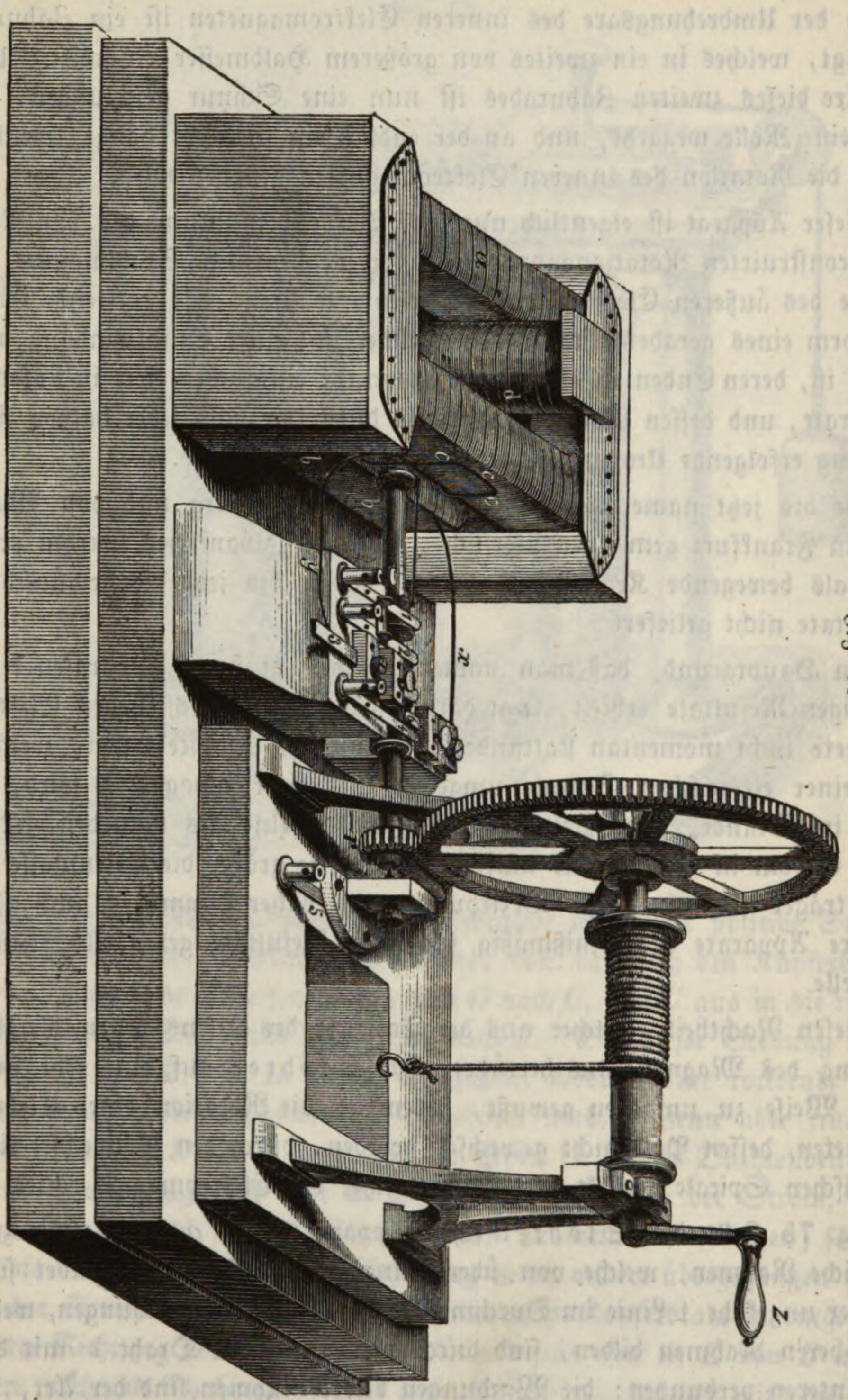


Fig. 75.

Zwischenraum, daß die Umdrehungsaxe des Elektromagneten *d* sich frei bewegen kann.

Der Eisenkern des Elektromagneten ist an jedem Ende mit einer Eisenplatte versehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagneten hält, anderentheils aber auch sehr zur Verstärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen *a* und *b* und durch die Windungen des Elektromagneten *d* hindurchgeht, so wird sich der Elektromagnet rechtwinklig stellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein bestimmter Pol des Elektromagneten sich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, so würde der Elektromagnet in dieser Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen, wird aber der Strom in den Rahmen in demselben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet seine vertikale Stellung erreicht hat, so wird nun die Rotation fortdauern müssen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet ist; es wird also eine beständige Rotation des Elektromagneten stattfinden müssen, wenn nach jener halben Umdrehung desselben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagneten ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurchgeleitet wird.

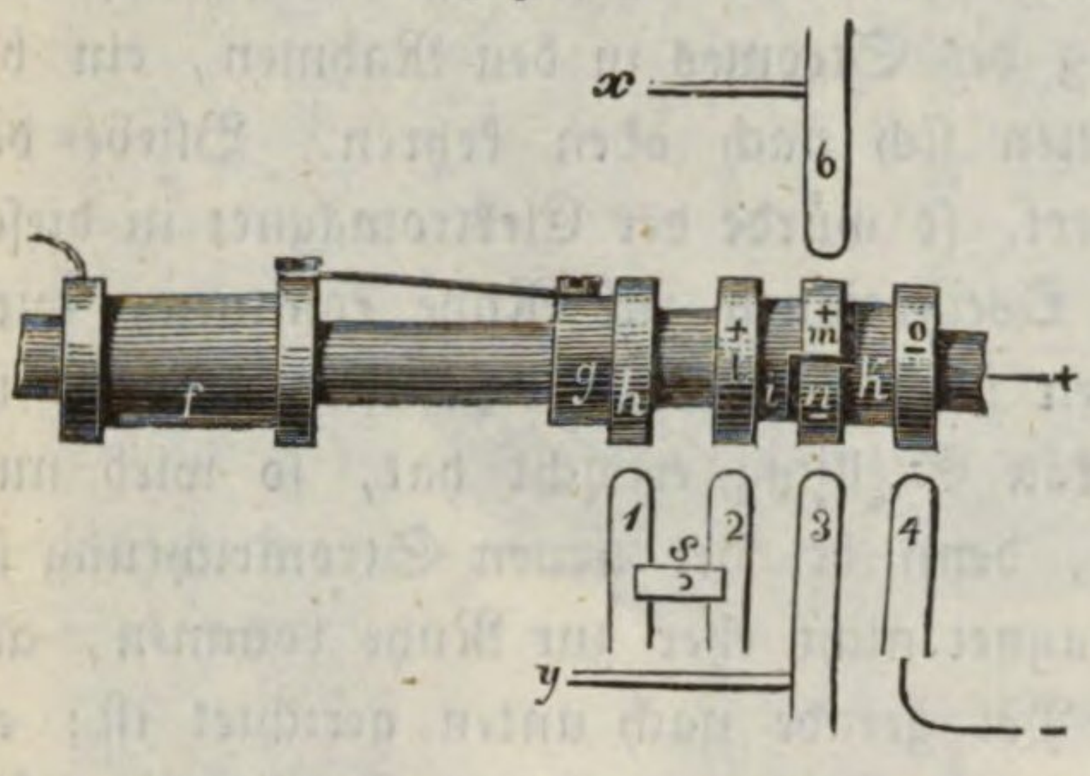
Die Umdrehungsaxe des Elektromagneten läuft zwischen zwei Stahlspitzen, von denen nur die eine in unserer Figur sichtbar ist. Diese Spitze steckt mit einem Schraubengewinde in einem Messingpfeiler, dessen Fuß fest auf den Boden aufgeschraubt ist, so daß eine innige Berührung zwischen diesem Messingfuße und dem Kupferstreifen 5 stattfindet, auf dessen anderem Ende ein Messingsäulchen sitzt. In dieses Säulchen kann der eine Poldraht einer galvanischen Kette eingesteckt und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden. (Die Schraube ist in der Figur weggelassen worden; dies Säulchen und seine Schraube ist genau so wie das auf der Feder 1 stehende.)

Der Strom tritt also durch dies Säulchen und den Kupferstreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eisenkern des Elektromagneten gelangt. Auf diesen Eisenkern ist nun das eine Drahtende der Spirale aufgeschraubt, welche um den Eisenkern herumgewunden ist; das andere Ende dieser Spirale ist auf die Kupferhülse *f*, welche man Fig. 76 deutlicher sieht, eingelassen. Diese Kupferhülse steckt nicht unmittelbar auf der eisernen Axe, sondern sie ist

von ihr durch eine isolirende Hülse getrennt. Der Strom geht also aus dem Eisenkern des Elektromagneten in die Windungen desselben, und nachdem er dieselben durchlaufen hat, gelangt er zur Kupferhülse *f*, von der er dann zum Commutator geführt wird, welcher bewirkt, daß die Stromrichtung in den Windungen der Rahmen geleitet, nach jeder halben Umdrehung in denselben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieses Commutators ist aus Fig. 76 deutlicher zu ersehen. Von der Kupferhülse *f* führt ein Kupferdraht zur Eisenhülse *g*, welche, wie auch die eisernen Hülsen *i* und *k*, durch eine hölzerne Hülse, auf der sie stecken, welche aber nur zwischen *h* und *l* freiliegt, vor metallischer Berührung mit der Axe geschützt ist. Die Hülse *g* trägt den ganz kreisförmigen metallischen Kamm *h*; an dem einen Ende der Hülse *i* befindet sich der ganz kreisförmige Kamm *l*, auf der andern Seite von *i* ist der Kamm *m* befestigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm *n*, welcher gleichsam die Fortsetzung von *m* bildet, ist durch die Hülse *k* mit dem ganz kreisförmigen Kamm *o* in leitender Verbindung, aber durch eine isolirende Substanz von *m* und *i* getrennt.

Fig. 76.



Auf *h* schleift die Feder 1, auf *l* die Feder 2, auf *o* die Feder 4. Die Feder 3 schleift oben, die Feder 6 schleift unten an dem aus den Theilen *m* und *n* bestehenden Kamm und zwar so, daß *n* und 3 in Berührung sind, wenn *m* und 6 sich berühren, wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, so kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der positive Pol der Kette sey in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeschraubt, so geht der positive Strom, nachdem er den Elektromagneten umkreist hat, von *f* nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querstreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* ist also gleichsam ein + Pol, von *m* geht der positive Strom auf diejenige Feder über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, so daß also *n* gleichsam der negative Pol der Kette ist.

Wenn *m* mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung ist, so tritt also der positive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rah-

men ein, und gelangt, nachdem er diese Windungen durchlaufen hat, durch den Draht *y* und die Feder 3 nach *n;* nach einer halben Umdrehung aber kommt *m* mit 3 in Berührung, jetzt tritt der positive Strom durch die Feder 3 und den Draht *y* in die Windungen der Rahmen ein, durch *x* und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet also eine Umkehrung der Stromrichtung und der Rahmen Statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagneten bewerkstelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten ist das kleine Zahnrad *r* befestigt, welches in ein größeres eingreift. Um die Axe dieses größeren Zahnrades ist eine Schnur geschlungen, an welcher ein passendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird.

Sollte der Apparat nun zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, so könnte er etwas einfacher sein; *g* und *h* und die Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, *f* und *i* direct durch einen Kupferdraht verbunden seyn; bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, läßt er sich aber auch noch zu anderen Versuchen anwenden, welche erst später besprochen werden können.

Bei Anwendung einer Zinkkohlenkette, welche 20 Quadratzoll wirkender Kohlenfläche hatte, wurden folgende Resultate erhalten:

1 Element hob $1^3/_4$ Pfund in 4 Sekunden 1 Fuß hoch.
2 » » 3 » » 3 » » » »
3 » » 5 » » $2^1/_2$ » » » »
4 » » 6 » » 2 » » » »
5 » » $5^3/_4$ » » $1^1/_2$ » » » »

Obgleich die Stöhrer'schen Apparate günstigere Resultate geben, als alle früher zu diesem Zwecke construirten, so ergab sich doch, daß die Unterhaltungskosten zu groß sind, um eine technische Anwendung möglich zu machen.

Elektrische Telegraphen.

Eine andere praktische Anwendung, welche man von der schnellen Verbreitung elektrischer Ströme durch isolirte Metalldrähte und der Magnetisirung des Eisens durch elektrische Ströme gemacht hat, sind die elektrischen Telegraphen. Mehrere Physiker, in Deutschland besonders Steinheil, haben verschiedene höchst sinnreiche Vorrichtungen der Art in Vorschlag gebracht und ausgeführt, wir wollen uns hier jedoch darauf beschränken, den für die Demonstration wenigstens ziemlich einfachen elektrischen Telegraphen Wheatstone's zu beschreiben.

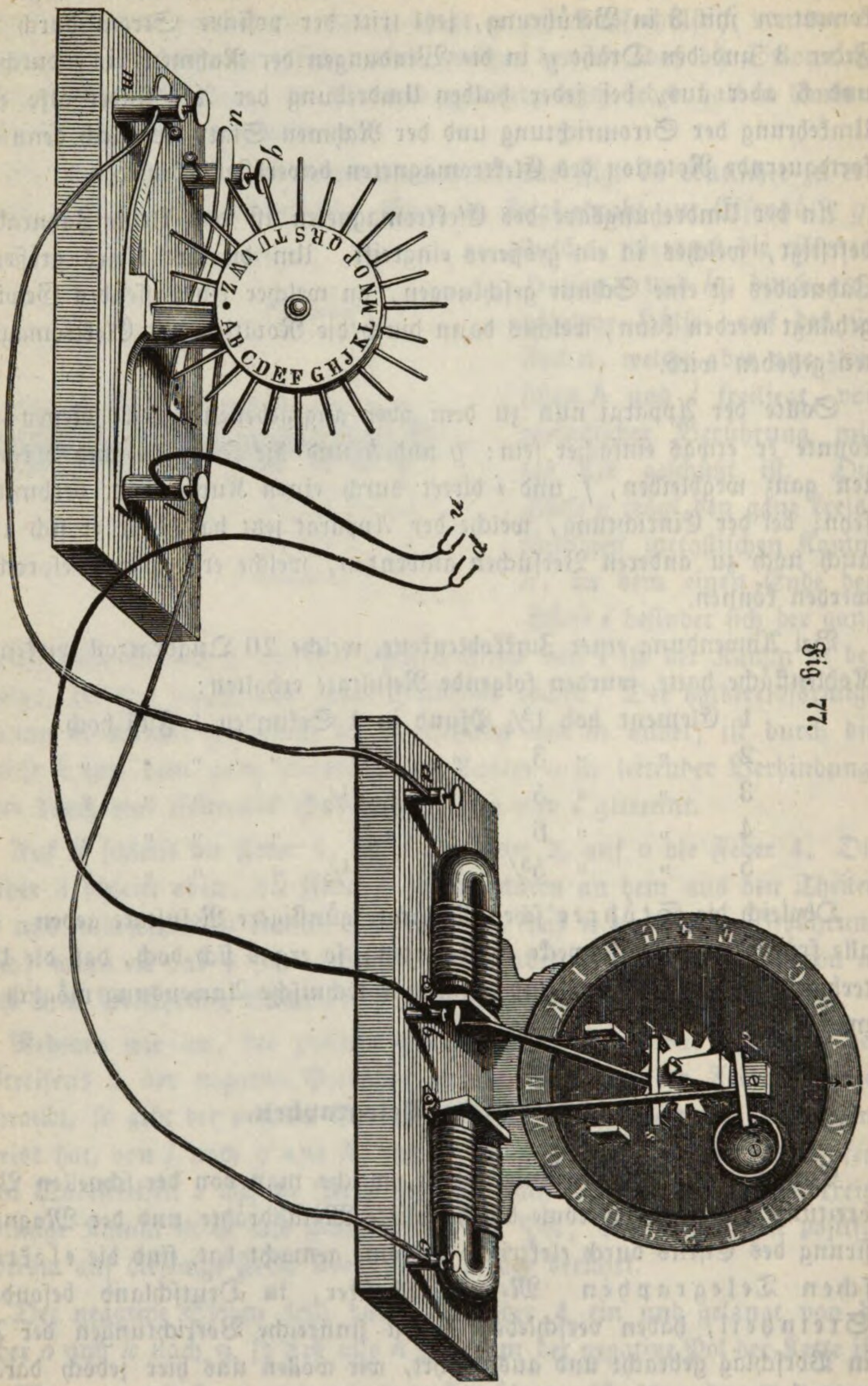


Fig. 72.

Auf einem Brettchen, Fig. 77, sind zwei hufeisenförmig gebogene Stücke von weichem Eisen befestigt, welche mit einem durch Seide isolirten Kupferdraht in der Weise umwunden sind, daß sie magnetisch werden, sobald ein galvanischer Strom diese Windungen durchläuft, daß sie aber augenblicklich ihren Magnetismus verlieren, sobald der Strom unterbrochen wird.

Das eine Ende des Drahtes, welcher um das links gelegene Hufeisen gewunden ist, geht unter dem Brettchen her zu dem Messingsäulchen *a*, das andere Ende zum Säulchen *b*.

In *a* sowohl als in *b* ist nun ein Draht eingeschraubt; diese Drähte führen zu dem oft Stunden weit entfernten Orte, an welchem sich eine galvanische Kette befindet. Bringt man den in *a* eingeschraubten Leitungsdraht mit dem positiven, den in *b* eingeschraubten Draht mit dem negativen Pole jener galvanischen Kette in Berührung, so wird das Hufeisen sogleich magnetisch; man braucht nur die Berührung des einen dieser Drähte mit dem einen Pol der Kette abwechselnd herzustellen und zu unterbrechen, um den Magnetismus im Hufeisen abwechselnd zu erzeugen und wieder zu vernichten.

Von dem Orte, an welchem die galvanische Säule aufgestellt ist, geht aber ein dritter Draht aus, welcher zum Messingsäulchen *c* führt; nach *b* und *c* laufen aber unter dem Brette her die Enden der Drahtwindungen, welche um das rechtsgelegene Hufeisen herumgehen; dieses kann also ebenfalls durch eine ganz entfernt bei der galvanischen Kette befindliche Person abwechselnd magnetisch und unmagnetisch gemacht werden.

Dicht vor den Polen des Hufeisens auf der rechten Seite ist nun eine Eisenplatte angebracht, welche an ihrem unteren Ende um zwei Zapfen, wie eine Thür um die Angel, beweglich ist; an dieser Eisenplatte ist ein in die Höhe gehender Stab befestigt, welcher oben den horizontalen Querstab *d* trägt.

Sobald das Hufeisen magnetisch wird, wird die Eisenplatte angezogen, sobald aber der magnetische Zustand des Hufeisens wieder aufhört, wird die Eisenplatte durch eine schwache Feder, welche gegen den aufwärts gehenden Stab drückt, wieder von den Polen des Hufeisens entfernt.

Durch eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des um das Hufeisen herumgeleiteten Stromes wird also der horizontale Querstab *d* hin- und herbewegt. An jedem Ende dieses Querstabes befindet sich nun eine kleine Kugel, welche bei jedem Hin- und Hergange an ein Glöckchen anschlagen, welches unsere Figur deutlich zeigt.

Wenn die an der Volta'schen Kette stehende Person den Strom abwechselnd herstellt und unterbricht, so ist sie also im Stande, dadurch Signale an dem weit entfernten Glöckchen zu geben.

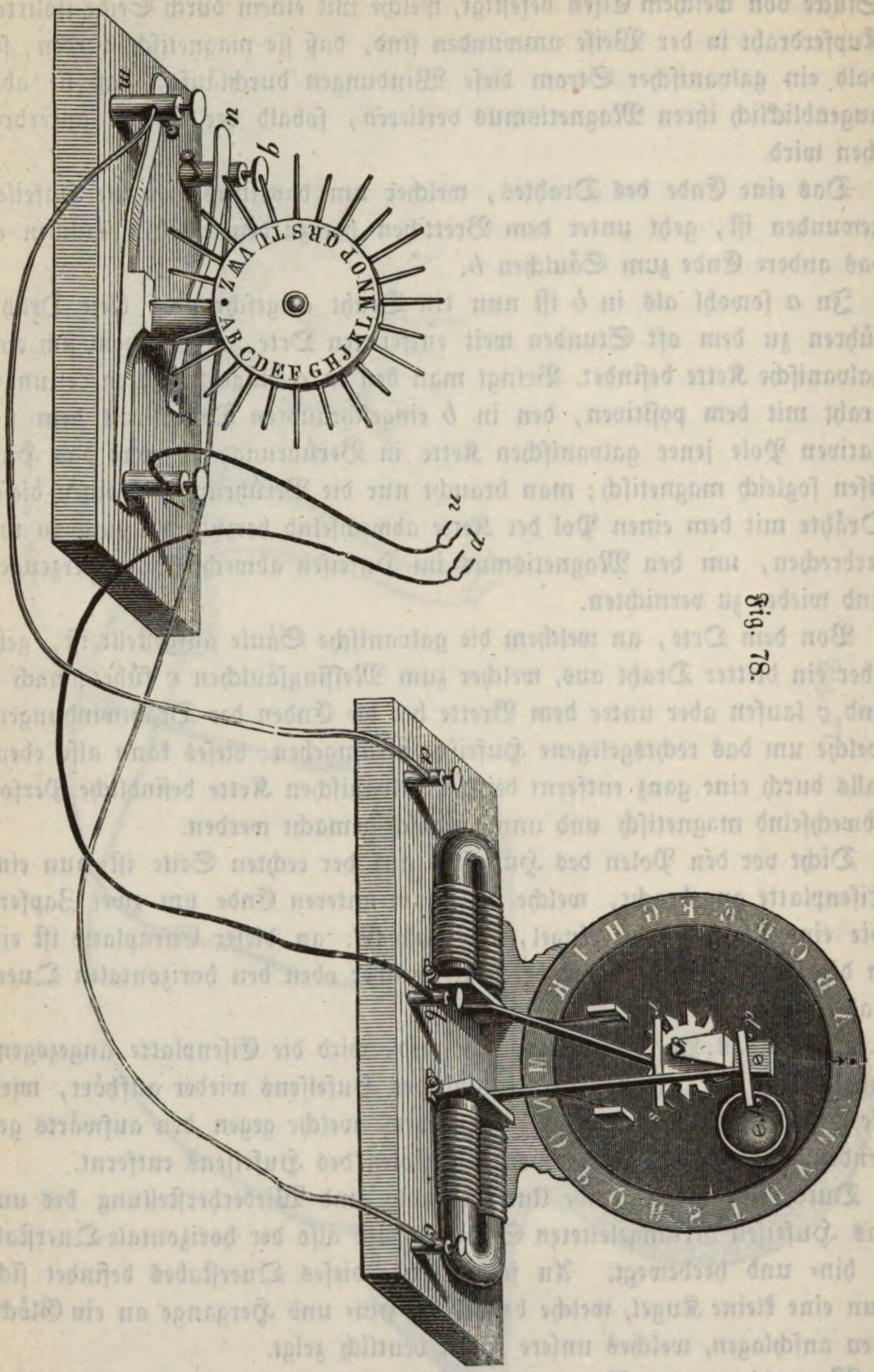


Fig. 78.

Dem andern Hufeisen gegenüber ist eine ähnliche Eisenplatte mit einem Stabe befestigt, welcher den Querstab *rs* trägt. An jedem Ende desselben ist ein Stäbchen angebracht; bei dem Hin- und Hergange der Eisenplatte greift nun abwechselnd das eine und das andere Stäbchen in die Zähne eines Rades ein, und zwar ist die Einrichtung so getroffen, daß bei jedem Hin- und Hergange das Rad um 1 Zahn weiter geschoben wird. Das Rad hat 12 Zähne.

Wenn also die Person an dem Volta'schen Apparate die Kette durch die nach *b* und *a* gehenden Drähte schließt, so wird das Zahnrad um ½ Zahn weiter geschoben, bei der Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn u. s. w.; jede Schließung der Kette schiebt das Rad um ½ Zahn und jede Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn weiter.

Die Axe unseres Zahnrades geht nun durch den Mittelpunkt einer Scheibe von Eisenblech, an welcher auch das Glöckchen befestigt ist. Wir sehen in unserer Figur diese Scheibe von der hinteren Seite. Auf dem Rande dieser Scheibe, und zwar auf der vorderen uns abgewendeten Seite, sind nun 24 Zeichen, ein Punkt und 23 Buchstaben des Alphabets (*x* und *y* fehlen) in gleichen Abständen angebracht. Unsere Figur zeigt diese Buchstaben so, wie man sie sehen würde, wenn der Rand der Scheibe durchsichtig wäre.

Die durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Axe, um welche sich das Zahnrad dreht, trägt an der vorderen Seite der Scheibe einen Zeiger, welcher durch die Fortschiebung des Zahnrades ebenfalls fortgeschoben wird; und zwar wird dieser Zeiger bei jeder Schließung der Kette um einen, und bei jedem Oeffnen derselben abermals um einen Buchstaben weiter geschoben.

Wenn der Zeiger auf . gestellt ist, so wird er bei dem ersten Schließen der Kette auf *A* springen, bei der folgenden Oeffnung der Kette aber springt er auf *B*, bei einer abermaligen Schließung auf *C* u. s. w. Durch abwechselnde Schließung und Unterbrechung der Kette kann also die an dem Volta'schen Apparat stehende Person den Zeiger bis zu jedem beliebigen Buchstaben springen lassen, alsdann mit dem Glöckchen ein Zeichen geben und so fort jedes beliebige Wort buchstabiren.

Hierbei wäre aber sehr leicht ein Irrthum möglich; wenn sich die signalisirende Person im Zählen der Schließungen und Unterbrechungen irrt, so steht der Zeiger auf einem andern als dem beabsichtigten Buchstaben.

Um solche Irrthümer zu vermeiden, ist dicht bei der Volta'schen Kette noch ein Apparat eingeschaltet, welchen der Strom durchlaufen muß, und welcher dazu dient, die Schließungen und Unterbrechungen der Kette gehörig zu reguliren.

Dieser Apparat ist in Fig. 78 unten links dargestellt; *p* und *n* sind die

beiden Pole der Volta'schen Kette, von *p* geht ein überſponnener Kupferdraht direkt zu dem Meſſingſäulchen *b* des Apparates, an welchem die buchſtabirten Worte abgeleſen werden. Dieſer Draht iſt in unſerer Figur ganz ſchwarz. Vom negativen Pol der Kette geht ein kurzer Draht zum Säulchen *l* des Regulirungsapparates. An dieſem Apparate befinden ſich nun noch zwei andere Säulchen *m* und *q*. In *m* wird der von *a*, in *q* wird der von *c* kommende Kupferdraht eingeſchraubt.

Durch einen unter dem Brettchen herlaufenden Draht iſt *l* mit der Meſſingfeder *tu* in leitender Verbindung. Wird dieſe Feder niedergedrückt, ſo kommt ſie mit einem aus dem Säulchen *q* hervorragenden Knöpfchen in Berührung, der Strom geht dann von *p* nach *b*, von *b* um das rechtsliegende Hufeiſen herum nach *c*. von *c* nach *q*, von *q* durch die Feder nach *l*, von *l* nach *n*. Läßt man die Feder *tu* gehen, ſo iſt der Strom unterbrochen.

Von dem Säulchen *l* geht nun auch eine Meſſingfeder aus, welche, wenn ſie nicht niedergedrückt iſt, einen am Säulchen *m* hervorragenden Knopf berührt. Iſt dies der Fall, ſo iſt die Kette geſchloſſen, der Strom geht vom poſitiven Pol durch den ſchwarzen Draht nach *b*, von da um das links liegende Hufeiſen herum nach *a*, von *a* nach *m*, von *m* durch die Meſſingfeder nach *l*, und von *l* endlich nach dem negativen Pol *n* der Kette.

Durch Niederdrücken der erwähnten Meſſingfeder wird dieſer Strom unterbrochen.

In der Mitte über der von *l* nach *m* gehenden Meſſingfeder befindet ſich eine um eine horizontale Axe drehbare Scheibe, an deren Rande 24 abwechſelnd lange und kurze Stäbchen angebracht ſind. Eines der langen Stäbchen iſt durch . bezeichnet, die anderen durch Buchſtaben, und zwar ſind die mit *A, C, E, G, I* u. ſ. w. bezeichneten Speichen kurz, die mit *B, D, F, H, K* u. ſ. w. bezeichneten Speichen aber lang.

Wenn die Scheibe ſo geſtellt iſt, daß eine lange Speiche vertikal nach unten gekehrt iſt, ſo drückt dieſelbe ſo auf die Meſſingfeder, daß ſie niedergehalten und dadurch der Strom, welcher um das links liegende Hufeiſen herumgeht, unterbrochen iſt.

Unſere Figuren zeigen den Apparat, wie er hergerichtet ſeyn muß, wenn das Signaliſiren beginnen ſoll. Die Kette iſt an keiner Stelle geſchloſſen.

Zuerſt wird nun durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Signal mit dem Glöckchen gegeben, um die an der andern Station ſich befindende Perſon aufmerkſam zu machen. Alsdann wird die Scheibe ſo gedreht, daß zunächſt die Speiche *A* vertikal nach unten geht; da ſie kurz iſt, ſo iſt die Folge davon, daß die von *l* nach *m* gehende Feder in die Höhe geht, wodurch die Kette geſchloſſen wird, wobei dann der Zeiger von . auf *A* ſpringt. Dreht man die Scheibe weiter, ſo daß die lange Speiche *B* gerade nach

unten gerichtet ist, so wird die Kette wieder unterbrochen, der Zeiger springt auf *B*. Durch Drehen der Scheibe kann man also den Zeiger auf jeden beliebigen Buchstaben bringen, der Zeiger steht immer auf dem Buchstaben, welcher die vertikal nach unten gerichtete Speiche bezeichnet.

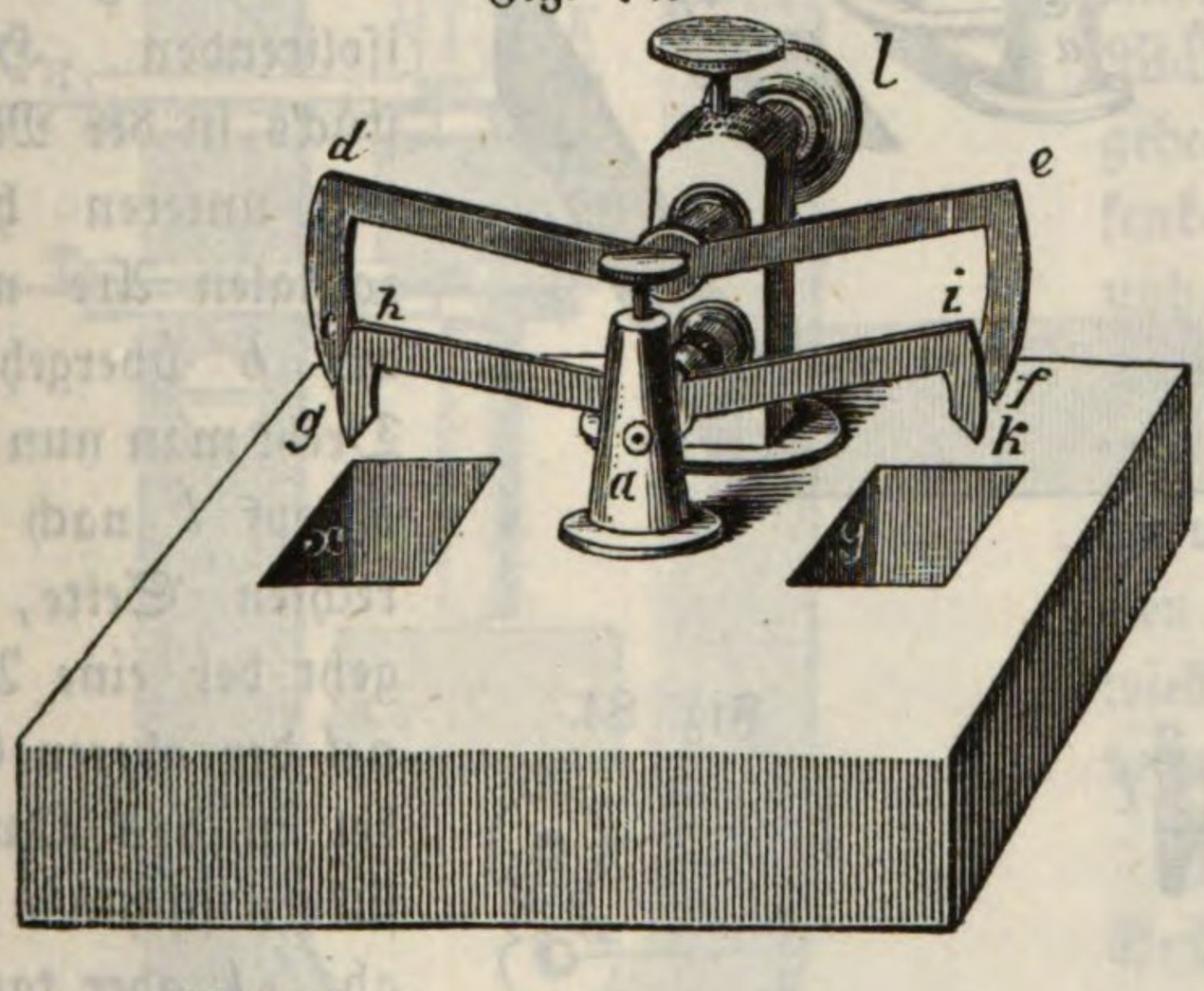
Hat man den Zeiger auf den beabsichtigten Buchstaben gebracht, so wird durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Zeichen mit der Glocke gegeben; darauf wird die andere Feder mit der Hand ganz niedergedrückt, um die Scheibe bequem auf den Nullpunkt zurückstellen zu können. Ist dies geschehen, so wird der Beobachter davon durch ein abermaliges Zeichen mit dem Glöckchen benachrichtigt, worauf er dann den Zeiger auch auf . zurückzustellen hat. Nun ist der Apparat wieder zu Signalisirung eines zweiten Buchstaben vorbereitet.

Etter's Commutator.

Der auf Seite 488 gegebenen Beschreibung eines Gyrotropen oder Commutators (Stromwechslers) ist noch die Beschreibung des Etter'schen Commutators beizufügen.

Der Etter'sche Commutator ist Fig. 79 in perspectivischer Ansicht dargestellt, Figur 80 zeigt den Haupttheil des Apparates geometrisch von der Seite her.

Fig. 79.



Auf einem Holzbrettchen stehen zwei Messingpfeiler *a* u. *b*. Durch den hinteren Pfeiler *b* gehen zwei horizontale Axen; die obere, ganz von Messing, trägt vorn die Kupfergabel *cdef*, hinten aber den Knopf *l*, welcher dient, um diese Axe zu drehen. Die untere Axe ist nicht ganz von Messing, sondern sie hat in der Mitte ein

Fig. 80.

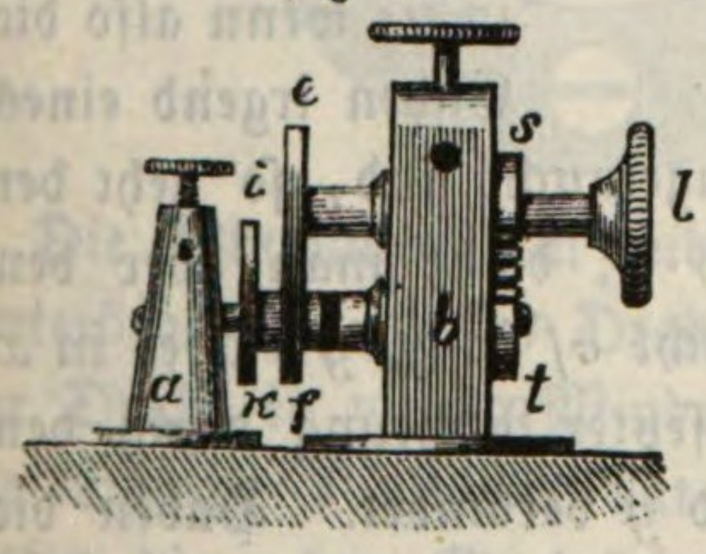
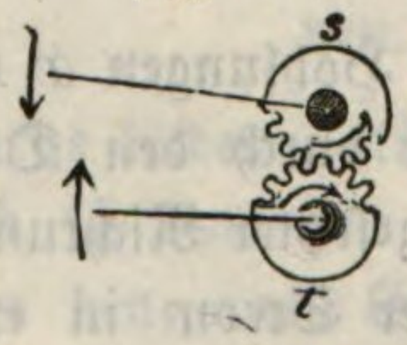


Fig. 81.



Holzstück, welches den vorderen messingenen Theil von dem hinteren isolirt. Der vordere Theil dieser Axe steckt in einer Höhlung der Säule *a* und trägt die Kupfergabel *ghik*.

Auf der Rückseite der Säule *b* tragen die beiden Axen Metallscheiben *s* und *t*, die durch einige Zähne in einander eingreifen, so daß durch Drehung am Knopf *l* beide Axen gedreht werden, wobei sich aber die untere stets nach der entgegengesetzten Seite der oberen dreht, wie sich dies aus der Erläuterungs-Figur 81 ergiebt.

Gegen das obere Ende hin enthält jede der Säulen ein Loch, in welcher vermittelst von oben herabkommender Schrauben die Poldrähte der galvanischen Kette eingeklemmt werden können.

In *b* sey der positive, in *a* der negative Poldraht eingeklemmt, so ist die Gabel *cdef* gleichsam das positive, *ghik* dagegen das negative Polende (die negative Elektricität kann von *a* wegen des isolirenden Holzstücks in der Mitte der unteren horizontalen Axe nicht auf *b* übergehen). Dreht man nun den Knopf *l* nach der rechten Seite, so geht der eine Arm *cd* der oberen Gabel in das Queckfilbernäpfchen *x* herab, *ik* aber taucht in *y*; wenn also die Enden irgend eines Leitungsdrahtes in die Höhlungen *x* und *y* eingetaucht sind, so geht der positive Strom von *x* durch den Draht nach *y*; dreht man aber den Knopf *l* nach entgegengesetzter Richtung, so taucht *ef* in *y*, *gh* aber in *x* ein, und nun geht der Strom in entgegengesetzter Richtung durch den Draht, welcher das Queckfilbernäpfchen *x* und *y* verbindet. Haben die Gabeln die Stellung wie in Fig. 82, so ist die Kette nicht geschlossen.

Fig. 82.

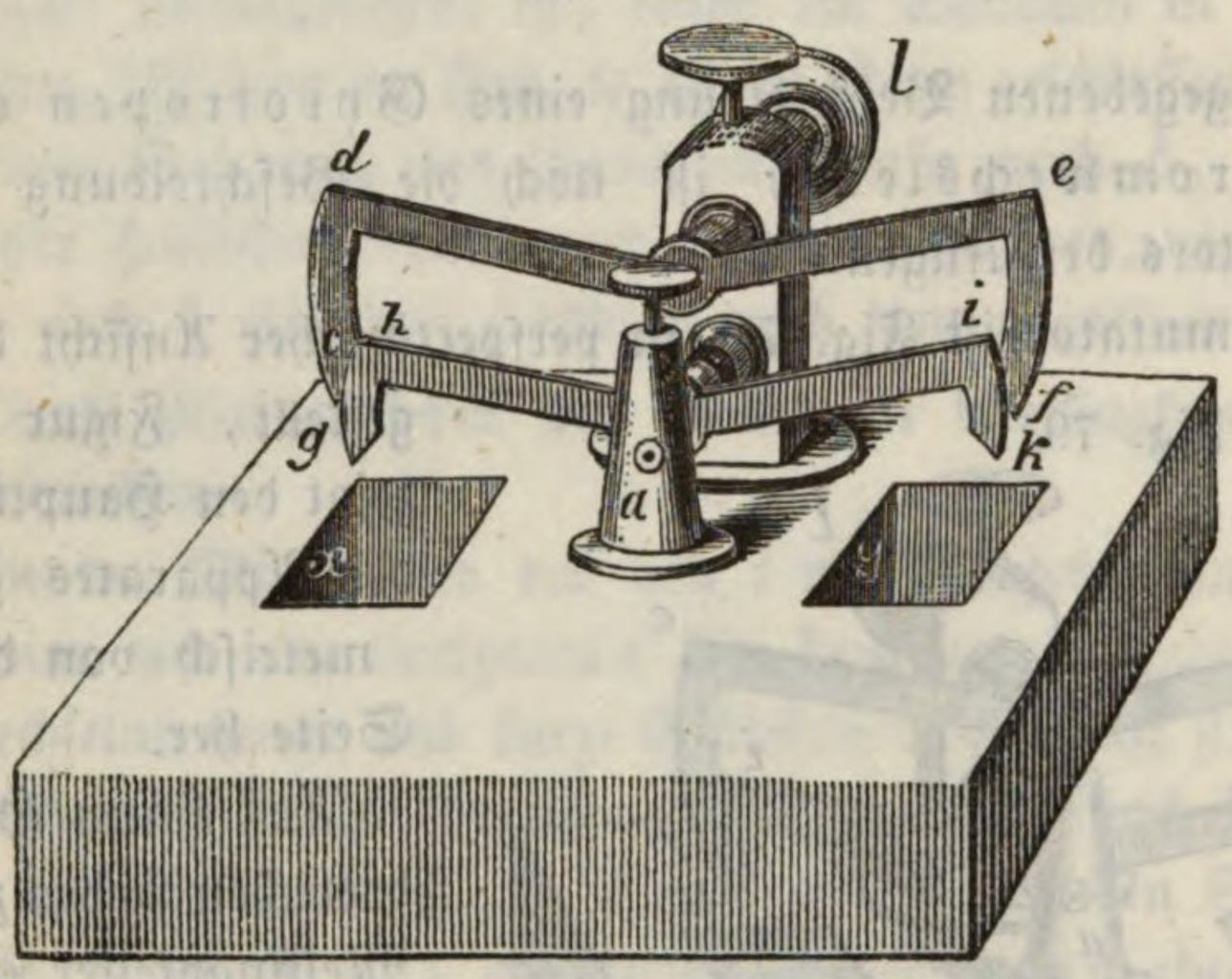


Fig. 83.

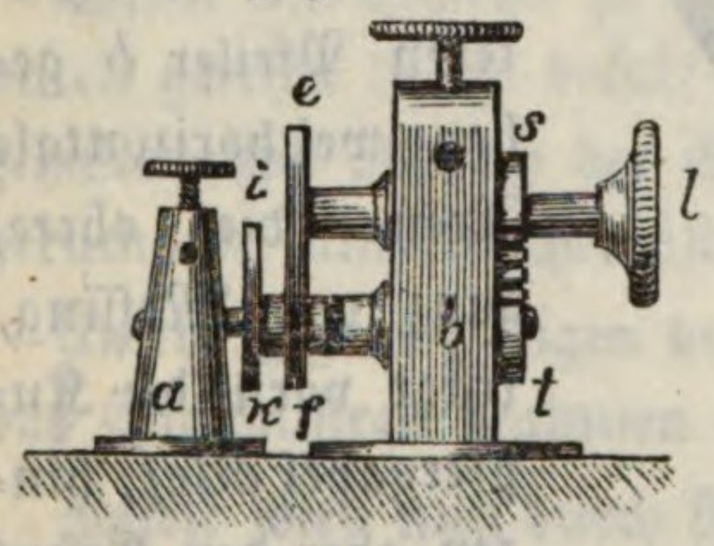
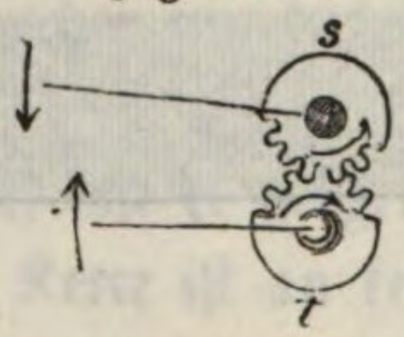


Fig. 84.

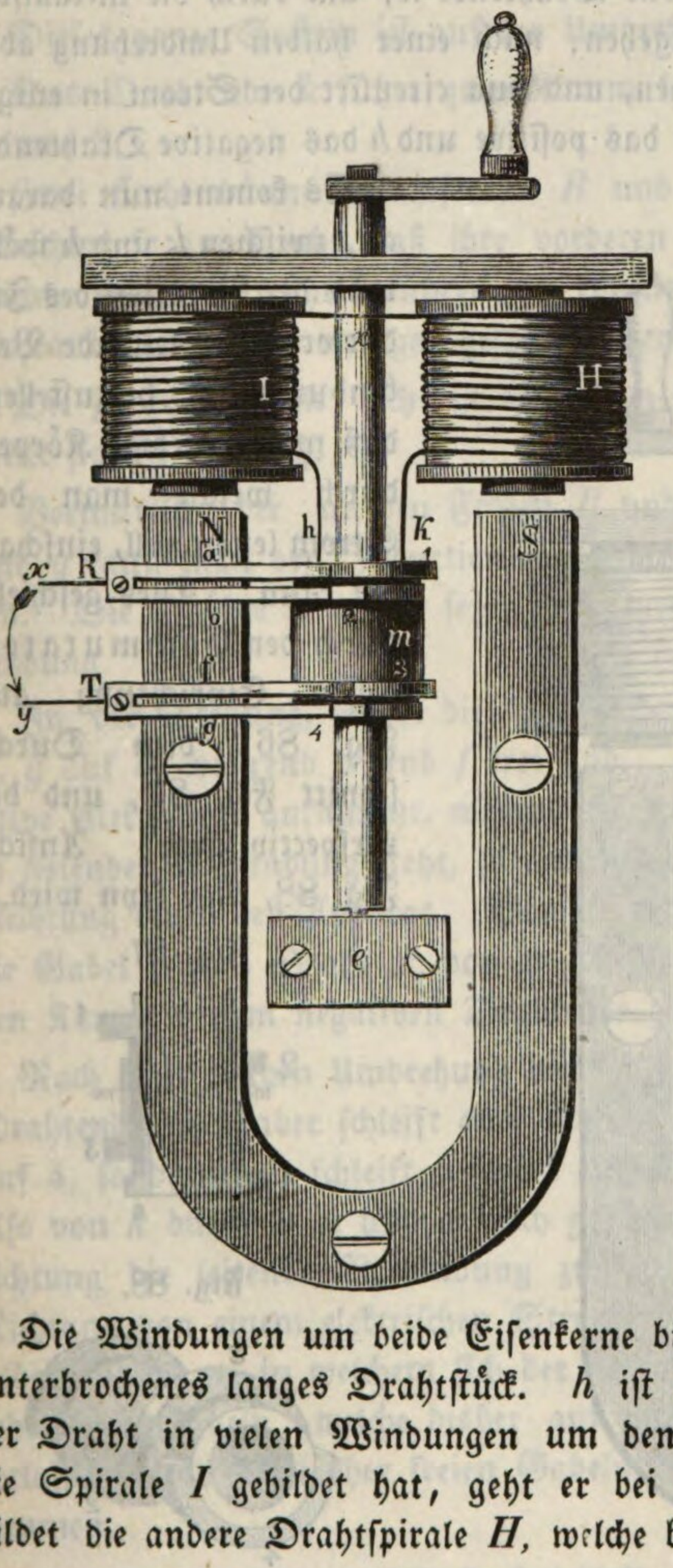


Die Magnetelektrisirmaschine.

Die Magnetelektrisirmaschinen sind in neuerer Zeit bedeutend verbessert worden, namentlich hat sich Stöhrer große Verdienste um ihre Vervollkommnung erworben.

Fig. 85. stellt eine ganz einfache magneto-elektrische Rotationsmaschine mit Stöhrer'schem Commutator dar.

Fig. 85.



Die Inductionsspiralen *I* und *H* sind um zwei Cylinder von weichem Eisen gewickelt, welche an den beiden Enden einer Eisenplatte befestigt sind, deren Mitte auf einer horizontalen eisernen Axe aufsitzt. Die Umdrehung der Axe geschieht, wie man dies aus der Figur ersehen kann, mittelst einer Kurbel. Während der Rotation gehen nun die beiden Eisenkerne an den Polen *N* und *S* eines kräftigen Hufeisenmagneten vorüber, und jeder Eisenkern wird dadurch abwechselnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

Das ganze rotirende System mit Allem, was daran befestigt ist, wollen wir den Inductor nennen.

Die Windungen um beide Eisenkerne bilden natürlich ein einziges ununterbrochenes langes Drahtstück. *h* ist das eine Drahtende; nachdem der Draht in vielen Windungen um den einen Eisenkern herumgehend, die Spirale *I* gebildet hat, geht er bei *x* auf die andere Seite über, bildet die andere Drahtspirale *H*, welche bei *k* endigt.

Sobald die Drahtenden *h* und *k* in leitender Verbindung sind, entsteht in den Windungen ein Inductionsstrom, wenn der Inductor gedreht wird. Die Richtung des Stromes hängt von der Art der Aufwindung ab. Nehmen wir an, der Draht sey so aufgewunden, daß bei *x* der positive Strom stets von der Spirale, welche sich gerade von unten her dem Pol *S* nähert, zu derjenigen übergeht, welche von oben her dem Pol *N* entgegengeht. In dem Moment, in welchem der Inductor gerade die in unserer Figur gezeichnete Stellung hat, wo also *I* unten bei *N* und *H* oben bei *S* ankommt, geht also der positive Strom von *k* durch die Spirale *H*, dann durch *x* in die Spirale *I* und das Drahtende *h*, um durch die metallische Verbindung von *h* in *k* überzugehen; nach einer halben Umdrehung aber wird *H* dem Pol *N* entgegengehen, und nun circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung, nun ist *k* das positive und *h* das negative Drahtende.

Es kommt nun darauf an, zwischen *k* und *h* während der Rotation des Inductors eine leitende Verbindung so herzustellen, daß man beliebige Körper, durch welche man den Strom leiten will, einschalten kann. Dies geschieht durch den Commutator, dessen Einrichtung aus Fig. 86, dem Durchschnitt Fig. 87, und der perspectivischen Ansicht Fig. 88, klar seyn wird.

Fig. 86.

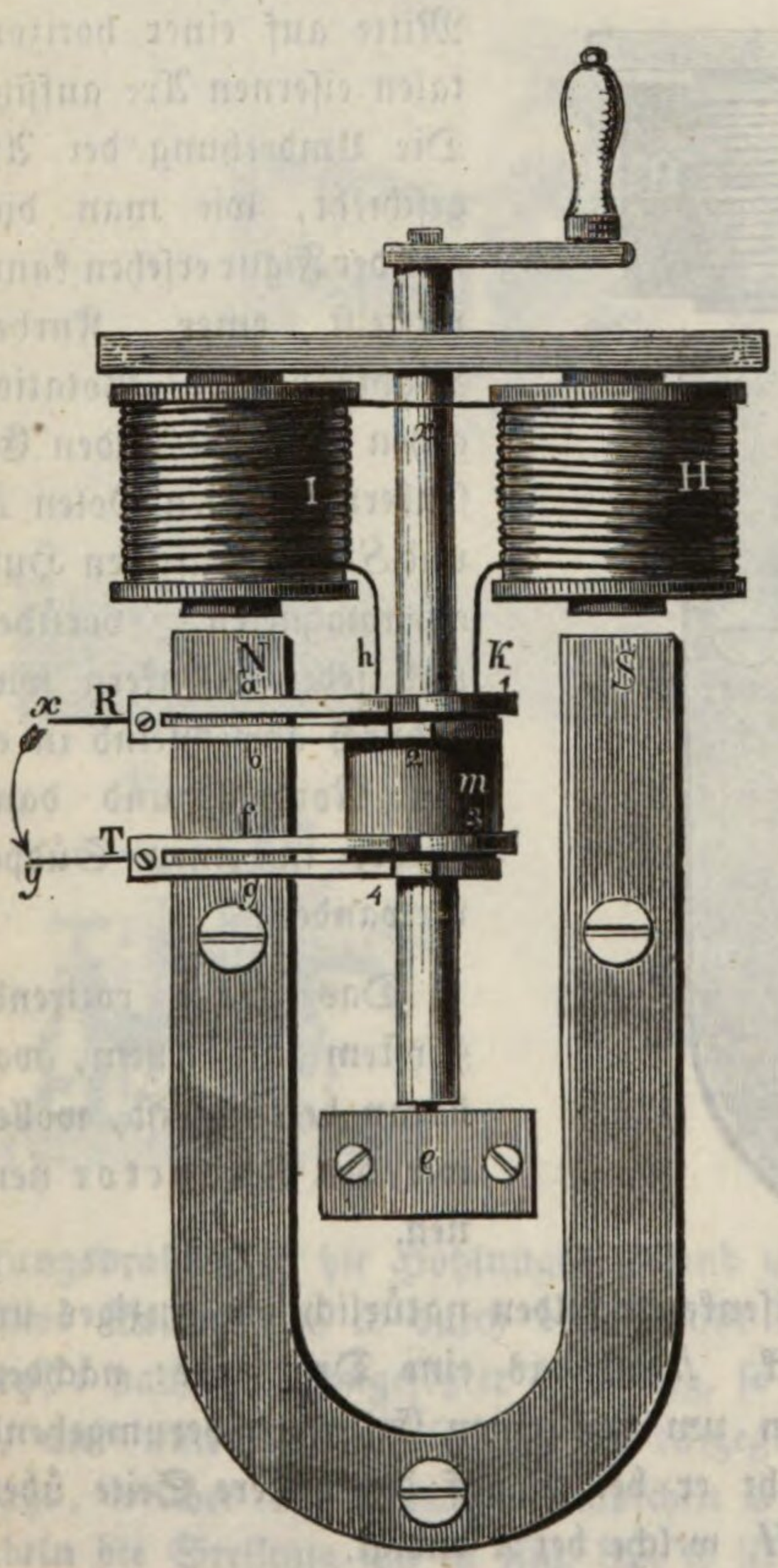


Fig. 87.

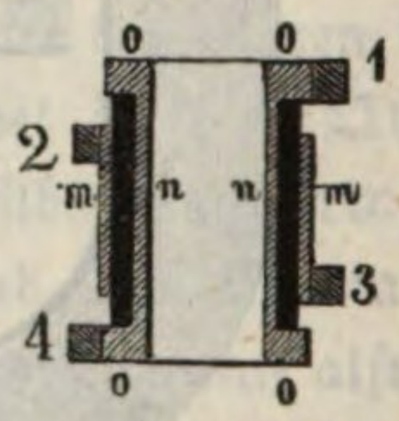
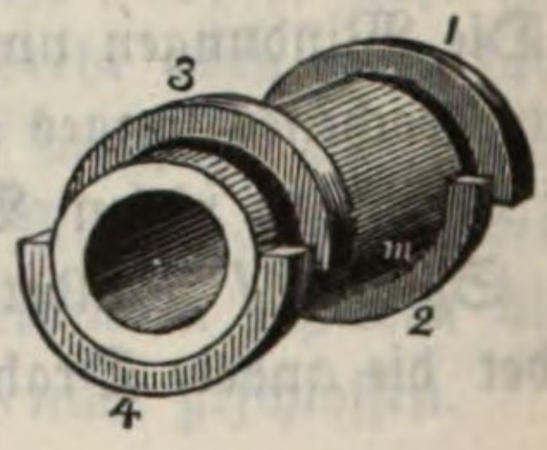


Fig. 88.



An den beiden Enden des Messingrohrs *m* sind zwei Stahlkämme 2 und 3 so aufgelöthet, daß sie genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohrs *m*, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt (in Fig. 87 ist der Durchschnitt des Buchsbaumrohrs ganz schwarz gemacht) ist ein zweites Messingrohr, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre *n* aus einem Stück gedrehte Ringe *o* von gleichem Durchmesser mit dem Rohre *m*; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 88 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das Drahtende *k* führt zum Kamm 1, das Drahtende *h* führt zum Kamm 2.

Zwei flache dünne Stahlfedern *R* und *T* sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Die Feder *R* theilt sich in die beiden Gabeln *a* und *b*, die Feder *T* theilt sich in *f* und *g*.

Vermittelst der an den Federn *R* und *S* angeschraubten Drähte *x* und *y* kann man den Inductionsstrom durch jeden beliebigen Körper leiten. Die Drähte *x* und *y* seyen auf irgend eine Weise in leitender Verbindung.

In der Stellung, welche die Figur darstellt, schleift *b* auf dem Kamm 2, *g* auf 4, während *a* und *f* frei sind. Da nun eben 2 von *h* die positive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende *k* in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Richtung durch den Apparat. Von *h* geht er durch den Kamm 2 und die Gabel *b* zum Draht *x*, von *x* geht er auf *y* über, um über *g* und den Kamm 4 zum negativen Drahtende zu gelangen.

Nach einer halben Umdrehung wird *k* das positive und *h* das negative Drahtende, nun aber schleift auch *b* nicht mehr auf 2, und *g* nicht mehr auf 4, sondern jetzt schleift *a* auf 1 und *f* auf 3, der positive Strom geht also von *k* durch 1, *a* und *x* nach *y*, man sieht also, daß bei dieser Vorrichtung die leitende Verbindung zwischen *x* und *y* stets in derselben Richtung von einem elektrischen Strome durchlaufen wird, wenn in demselben Moment, in welchem sich der Strom in den Inductionsrollen umkehrt, die Gabeln, welche bisher auf ihren Kämmen schleiften, dieselben verlassen, und die bisher freien Gabeln auf ihre Kämme aufzuliegen kommen.

Da die Kämme noch etwas über einander greifen, so werden alle 4 Federn einen Augenblick gleichzeitig schleifen; d. h. 1 wird mit *a* schon in Berührung kommen, ehe 2 die Gabel *b* verläßt, ebenso kommt 3 mit *f* schon in Berührung, ehe 4 die Gabel *g* verläßt. In diesem Moment geht gar kein Strom durch die leitende Verbindung zwischen *x* und *y*, indem der Strom durch die Federn selbst von den positiven Kämmen zu den negativen übergeht.

In dem Moment, in welchem ein Stahlkamm seine Feder verläßt, wird hier der Strom unterbrochen, wobei ein lebhafter Funken erscheint.

Wenn in die Verbindung zwischen *x* und *y* der menschliche Körper eingeschaltet ist, so erhält man bei jeder der oben erwähnten Unterbrechungen einen Schlag; bei rascher Umdrehung des Inductors folgen diese Schläge sehr schnell auf einander und bringen dann dieselben physiologischen Erscheinungen hervor, welche schon früher beschrieben wurden.

Leitet man die Drähte *x* und *y* zu einem Wasserzersetzungsapparat, so wird durch den bei der Rotation erzeugten Inductionsstrom Wasser zersetzt.

Wird der Verbindungsdraht zwischen *x* und *y* spiralförmig um ein weiches Eisen gewunden, so wird dieses durch den Inductionsstrom magnetisch.

Wenn der Inductionsstrom durch einen ganz dünnen und kurzen Platindraht geleitet wird, so wird derselbe glühend.

Die Fig. 86 ist eigentlich nur das Schema einer magnet-elektrischen Rotationsmaschine; wenn, wie es in dieser Figur der Fall ist, die Kurbel unmittelbar an der Umdrehungsaxe angebracht wäre, so würde man nicht im Stande seyn, eine hinlängliche Rotationsgeschwindigkeit zu erlangen, die Bewegung muß deshalb durch irgend eine Vorrichtung von der Kurbel zur Axe des Inductors so übertragen werden, daß die Inductoraxe sich rascher umdreht als die Kurbelaxe. Gewöhnlich geschieht dies dadurch, daß an der Kurbelaxe eine größere, an die Inductoraxe eine kleinere Scheibe befestigt ist, welche Scheiben dann durch einen Schnurlauf verbunden sind, wie man dies an Ettingshausen's Magnetelektrisirmaschine sieht.

Der schon oben Seite 84 beschriebene Apparat Fig. 89 kann auch zur Hervorbringung von Inductionsströmen gebraucht werden. Zu diesem Zwecke stellt man nur die Verbindungsbügel *s*, Fig. 90, parallel mit den Federn 1 und 2, so daß keine metallische Verbindung zwischen 1 und 2 besteht; der negative Poldraht wird nun in das Säulchen der Feder 1 eingeschraubt. Der Strom tritt nun durch die Feder 5 ein, durchläuft

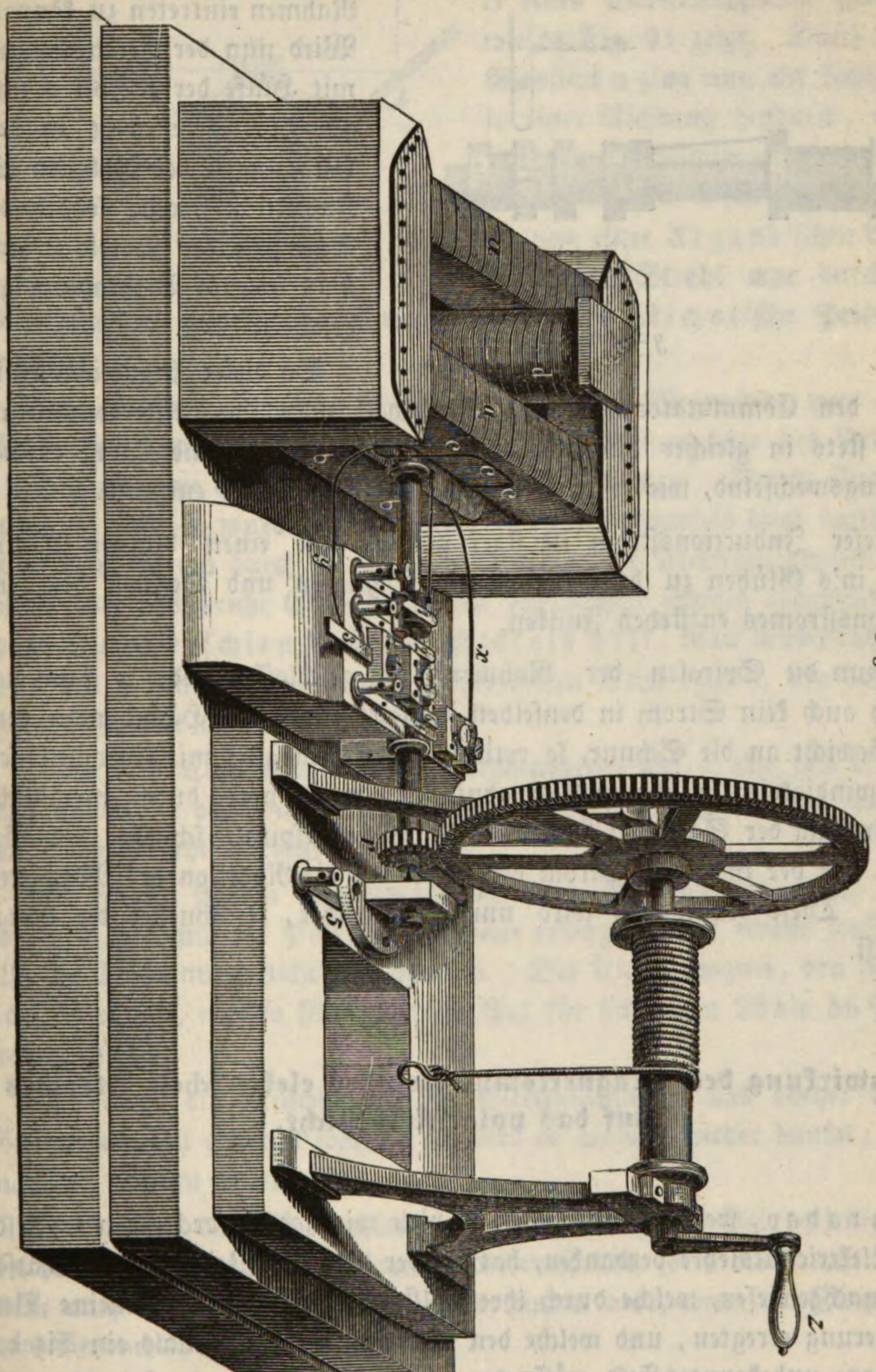
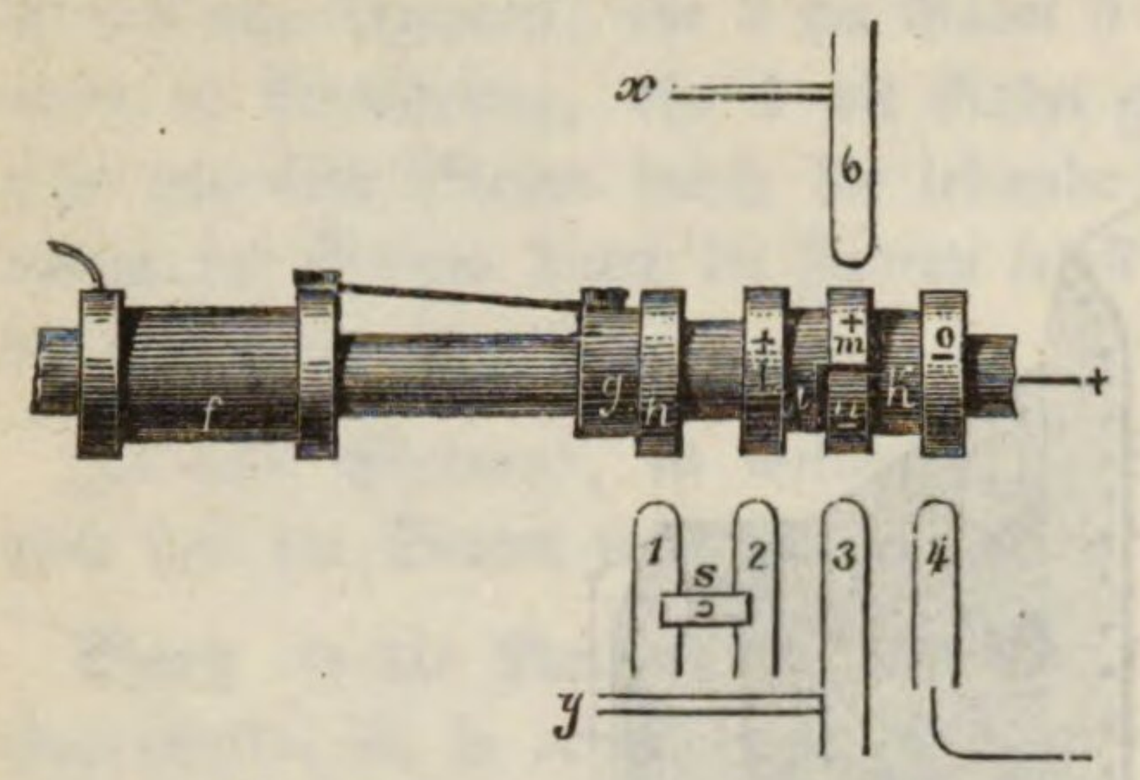


Fig. 89.

die Windungen des Elektromagneten und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können. Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z* umgedreht, so entsteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsstrom, sobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Fig. 90.



Da dieser Inductionsstrom durch den Commutator *m n* geht, so erhält man ihn gleich commutirt, d. h. stets in gleicher Richtung und nicht bei jeder Umdrehung einmal richtungswechselnd, wie er in den Spiralen ursprünglich entstand.

Dieser Inductionsstrom ist stark genug, um einen dünnen Platindraht in's Glühen zu bringen. Beim Schließen und Oeffnen des Inductionsstromes entstehen Funken.

Wenn die Spiralen der Rahmen nicht geschlossen sind, so kann natürlich auch kein Strom in denselben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, so rotirt der Elektromagnet mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche sogleich abnimmt, wenn man durch metallische Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenspirale schließt, ein Beweis, daß der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magneten wirkt. Diese Hemmung wird um so merklicher, je schneller die Rotation ist.

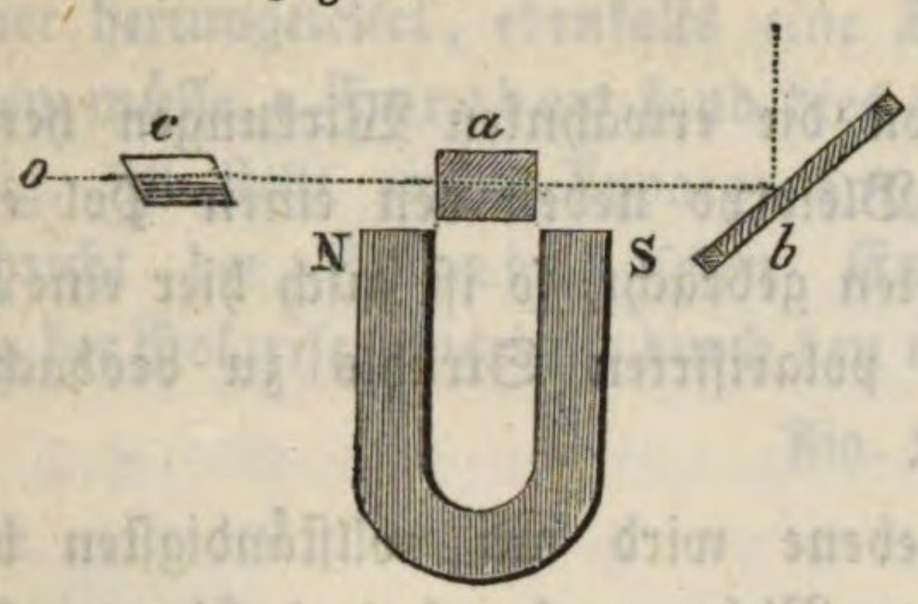
Einwirkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes auf das polarisirte Licht.

Faraday, welchem wir schon so viele wichtige Entdeckungen im Felde der Elektricitätslehre verdanken, hat in der neuesten Zeit wieder Thatsachen nachgewiesen, welche durch ihre vollständige Neuheit allgemeine Verwunderung erregten, und welche den Naturforschern abermals ein bis dahin ganz unbekanntes Feld eröffneten; er hat gezeigt, daß das optische Verhalten vieler Körper durch den Einfluß von Magneten und elektrischen Strömen modificirt wird.

Ein Stück kiesel-borsaures Bleioxyd, welches Faraday kurz

auch schweres Glas nennt, von ungefähr 2 Zoll Länge, wurde in der Art zwischen die beiden Pole *N* und *S* eines Elektromagneten gebracht, wie es Fig. 91 zeigt. Durch dieses Glasstück *a* ging nun ein Lichtstrahl in einer Richtung hindurch, welche mit der Verbindungslinie der beiden Pole *N* und *S* parallel ist. Dieser von einer Argand'schen Lampe kommende Strahl war durch den Glasspiegel *b* polarisirt und wurde durch das Nichol'sche Prisma *c* analysirt.

Fig. 91.



Das Prisma *c* wurde so gedreht, daß nach Wegnahme von *a* das Gesichtsfeld dunkel erschien, daß also die Polarisationsebene des Prismas *c* rechtwinklig zu der des Polarisationsspiegels *b* war. Durch Zwischenbringung von *a* wurde nichts geändert, das Gesichtsfeld blieb dunkel, so lange kein Strom durch die Drahtwindungen des Elektromagneten ging, sobald aber das weiche Eisen durch den elektrischen Strom magnetisch gemacht wurde, erschien das Gesichtsfeld hell; man mußte das Nichol'sche Prisma nach der rechten oder linken Seite drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen.

Durch die Einwirkung des Elektromagneten auf *a* war also die Polarisationsebene der von *b* kommenden Strahlen nach der rechten oder linken Seite gedreht worden.

Mit einem starken Stahlmagneten kann man nur eine sehr unbedeutende Drehung der Polarisationsebene erlangen; mit einem solchen ist also die Erscheinung nicht sehr deutlich. Der Elektromagnet, den Faraday anwandte, war so stark, daß ein Pol für sich allein 28 bis 56 Pfund tragen konnte.

Ist durch die Einwirkung des Elektromagneten das vorher dunkle Gesichtsfeld hell gemacht worden, so wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Wenn der dem Beobachter in *o* zunächst liegende Pol derjenige ist, welcher dem Nordende der Magnetnadel entspricht, so ist die Polarisationsebene nach der rechten gedreht, nach der linken aber, wenn der Südpol der dem Beobachter zugekehrte ist.

Wäre an die Stelle von *a* ein Eisenstab gebracht worden, so wäre er in einen Magneten verwandelt worden. Die Richtung, nach welcher ein in *a* befindliches Eisen vom positiven Strom umkreis't werden müßte, um ihm dieselbe Polarität mitzutheilen, die es unter dem Einfluß der

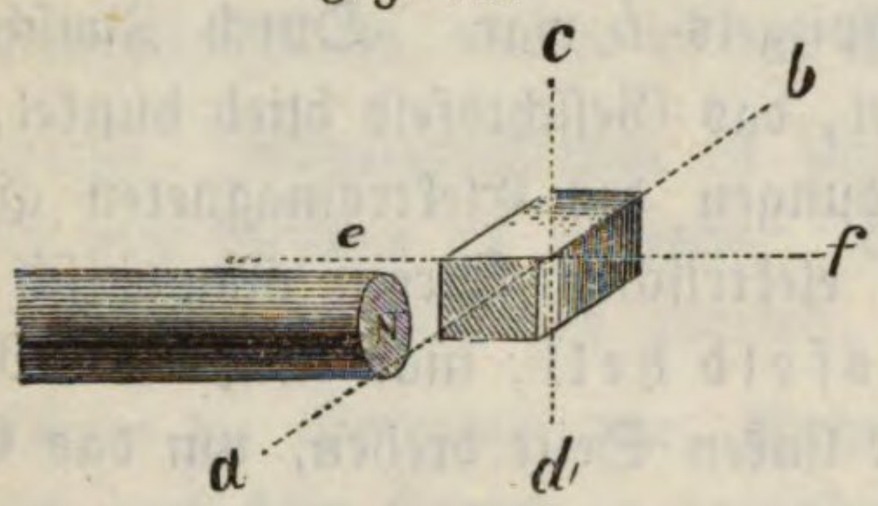
Magnetpole *N* und *S* erhält, ist dieselbe, nach welcher die Polarisationsebene im schweren Glase durch den Einfluß derselben Magnetpole gedreht wird.

Auch ein einziger Pol kann schon die erwähnten Wirkungen hervorbringen. Wird das kiesel-borsaure Bleioxyd neben den einen Pol eines kräftigen stabförmigen Elektromagneten gebracht, so ist auch hier eine Drehung der Polarisationsebene eines polarisirten Strahls zu beobachten, welcher das schwere Glas durchläuft.

Die Drehung der Polarisationsebene wird am vollständigsten beobachtet, wenn der Strahl in derjenigen Richtung durch das schwere Glas geht, welche die Axe des Magneten seyn würde, welcher entstände, wenn man für das schwere Glas ein Stück Eisen substituirte.

In Fig. 92 stelle *N* den Pol oder Elektromagneten, der neben ihm stehende rechteckige Körper das schwere Glas dar. Wäre es Eisen, so würde es zu einem Magneten werden, dessen Axe mit den Linien *ab* zusammenfällt (Faraday nennt diese Richtung eine Magnetkraftlinie), ein in dieser Richtung das schwere Glas durchlaufender polarisirter Strahl erfährt nun durch den Einfluß des Elektromagneten eine Drehung seiner Polarisationsebene. Je mehr die Richtung des durchgehenden Strahls von der Richtung der Magnetkraftlinie abweicht, desto geringer ist die Drehung seiner Polarisationsebene, sie ist Null für alle Strahlen, welche das schwere Glas rechtwinklig zur Magnetkraftlinie durchlaufen. Ein Strahl *cd* oder *ef* würde also keine Drehung der Polarisationsebene erfahren.

Fig. 92.



Für den Körper *a*, Fig. 91, ist *ab* die Magnetkraftlinie; an einem polarisirten Strahl, welcher *a* rechtwinklig zu *o b* durchläuft, ist keine Drehung der Polarisationsebene zu beobachten.

Das borsaure Blei zeigt die erwähnten Erscheinungen eben so gut wie das kiesel-borsaure; Flintglas zeigt sie in geringerem Grade, Kronglas in noch schwächerem Maaße.

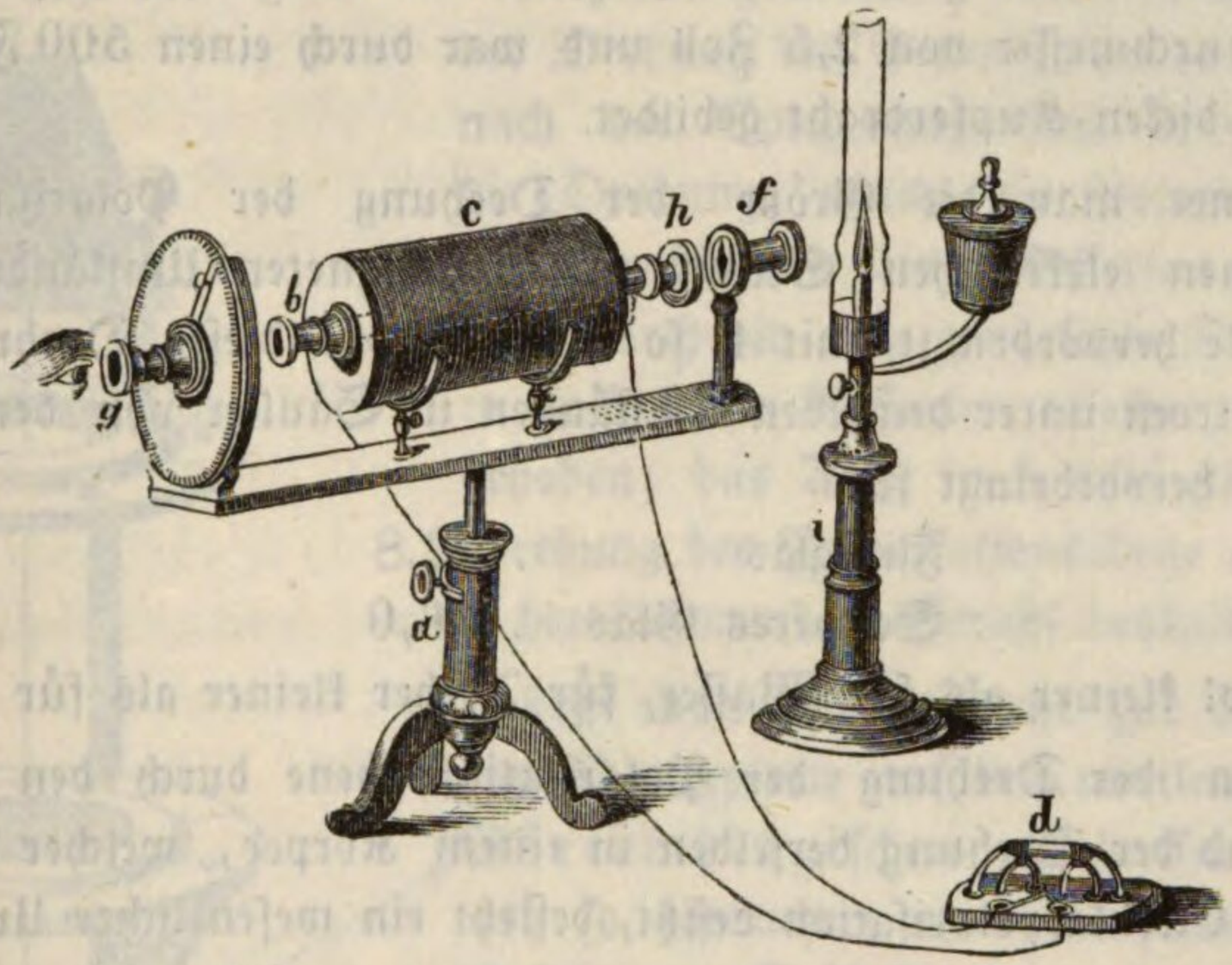
Steinsalz, Flußspath, Alaun zeigten Spuren einer Drehung, beim Bergkrystall, Kalkspath, Schwerspath, Gyps, kohlensauren Natron wurde gar nichts der Art beobachtet.

Die Drehung der Polarisationsebene durch den Einfluß des Magnetismus wurde endlich auch an Flüssigkeiten beobachtet, namentlich bei Wasser, Alkohol, Aether, Oelen, wässerigen und weingeistigen Lösungen u. s. w.

Nach den erwähnten Erscheinungen ließ sich erwarten, daß ein elektrischer Strom, in Form eines Schraubendrahtes, um die durchsichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polarisationsebene bewirken müsse. Faraday fand dies vollkommen bestätigt.

Fig. 93 stellt einen Apparat dar, wie ihn Böttger auf die erste Nachricht der Faraday'schen Entdeckung construirte, um die Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom zu zeigen. *g* und

Fig. 93.



f sind zwei Nichol'sche Prismen; *b h* ist eine an beiden Enden mit Glasplatten verschlossene Messingröhre, die mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist; sie steckt in einer eisernen Röhre, die von der elektromagnetischen Spirale *c* umgeben ist. Man sieht durch die beiden Nichol'schen Prismen und die mit der Flüssigkeit gefüllte Röhre nach den Flammen einer Argand'schen Lampe. Das Ocularprisma *g* wird so gedreht, daß das Gesichtsfeld dunkel ist; läßt man nun einen kräftigen galvanischen Strom durch die Spirale gehen, so erscheint alsbald die Flamme wieder, und man muß *g* nach der rechten oder linken Seite drehen, um sie wieder verschwinden zu machen.

Der Gyrotrop *d* dient zur leichtern Richtungsänderung des Stromes.

Wie sich nach den mit dem Elektromagneten erhaltenen Resultaten erwarten ließ, wird die Polarisationsebene des Strahls nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Rolle, so ist der Effekt des elektrischen Stromes zu dem

ihrer eigenen Kraft zu addiren oder davon abzuziehen, je nachdem der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Die Drahtspiralen, welche Faraday zu seinen Versuchen anwandte, waren ziemlich lang; eine hatte eine Länge von 65 Zoll und war durch zwei Lagen von Windungen eines 0,03 Zoll dicken Drahtes gebildet, dessen Gesammtlänge 1240 Fuß betrug, sie hatte einen inneren Durchmesser von 0,4 Zoll. Eine zweite Spirale hatte eine Länge von 26,5 Zoll, einen inneren Durchmesser von 2,5 Zoll und war durch einen 500 Fuß langen, 0,17 Zoll dicken Kupferdraht gebildet.

Bezeichnet man die Größe der Drehung der Polarisationsebene, welche einen elektrischen Strom unter geeigneten Umständen in einer Wassersäule hervorbringt, mit 1, so ist die Größe dieser Drehung, welche derselbe Strom unter denselben Umständen in Säulen von denselben Dimensionen hervorbringt für

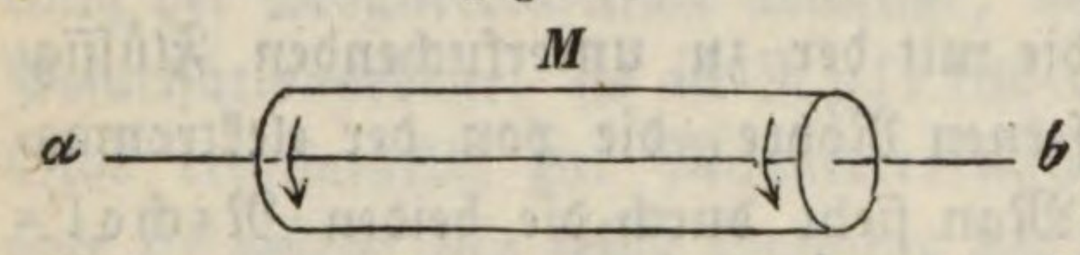
Flintglas . . .	2,8
Schweres Glas .	6,0

für Alkohol kleiner als für Wasser, für Aether kleiner als für Alkohol.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 94 stelle der Cylinder *M* ein Diamagneticum (so nennt Faraday alle Körper, auf welche der Magnetismus in anderer Weise wirkt als auf magnetische Körper) dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreis't wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahls, welcher *M* in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von *a* nach *b* fort, so beobachtet also ein in *b* befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl sich von *b* nach *a* fortpflanzte, ein in *a* befindliches Auge unter sonst ganz gleichen Umständen eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolarisirenden Körpern ist das nicht so. Wäre *M* ein rechtsdrehender circularpolarisirender Körper, so würde man die Polarisationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von *b* nach *a* oder von *a* nach *b* schauen.

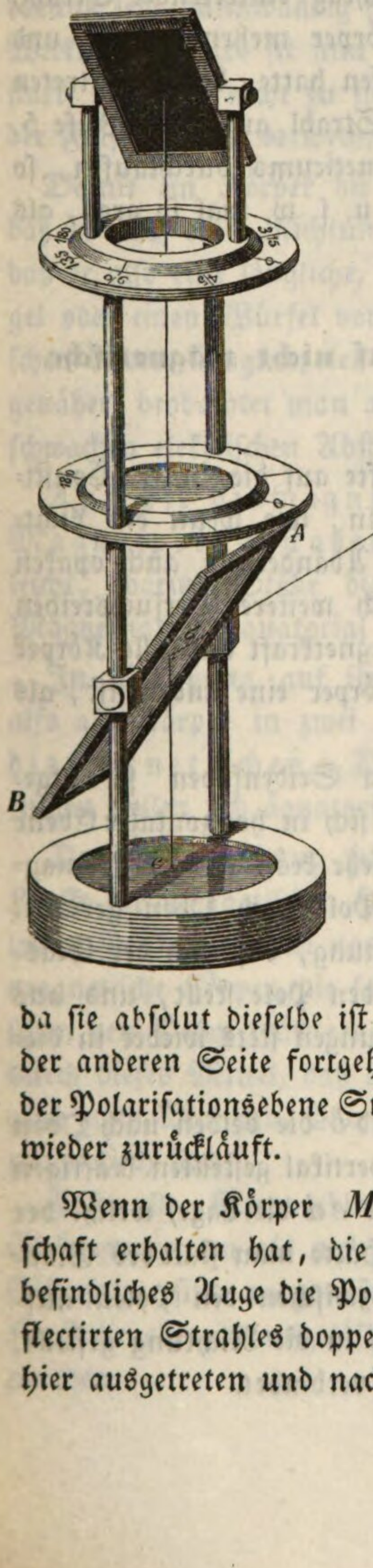
Fig. 94.



Dringt ein Lichtstrahl in ein circularpolarisirendes Mittel in der Richtung von *b* nach *a*, so würde, vorausgesetzt, daß das Mittel ein rechtsdrehendes ist, einem in *a* befindlichen Auge die Polarisationsebene des

einfallenden Strahles nach der rechten Seite, also in der Richtung der Pfeile gedreht erscheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt ist, so daß der sie treffende Strahl reflectirt wird, so wird der reflectirte Strahl eine solche Drehung der Polarisationsebene erleiden, daß sie einem in *b* befindlichen Auge nach der rechten gedreht erscheint, für den reflectirten Strahl findet also eine Drehung der Polarisationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengesetzten Richtung Statt.

Fig. 95.



Absolut genommen ist also die Richtung der Drehung der Polarisationsebene vor und nach der Spiegelung eine entgegengesetzte, die Drehung, welche die Polarisationsebene des Strahls von seiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengesetzte Drehung, die er nach seiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird also gar keine Drehung der Polarisationsebene an dem von *a* her kommenden Strahl beobachten können.

Legt man eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte auf den mittleren Tisch des Nörrembergischen Polarisationsapparates, so beobachtet man die schon früher beschriebenen Erscheinungen der Circularpolarisation, legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel *c* im Fuße des Polarisationsapparates Figur 95, so tritt der eben besprochene Fall ein, man beobachtet keine Drehung der Polarisationsebene mehr.

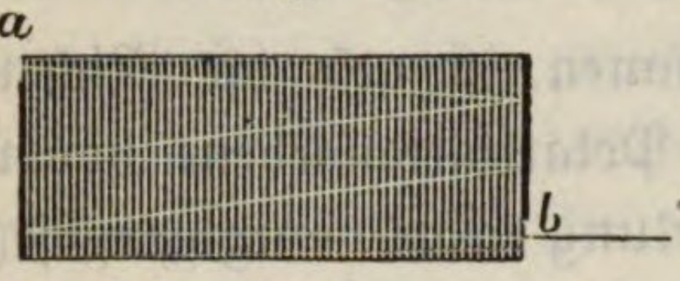
Da die Drehung der Polarisationsebene durch den Einfluß des elektrischen Stromes nur von der Richtung dieses Stromes abhängt, da sie absolut dieselbe ist, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der anderen Seite fortgehen, so findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polarisationsebene Statt, wenn der Strahl an der Rückwand gespiegelt wieder zurückläuft.

Wenn der Körper *M*, Fig. 94, durch elektrische Ströme die Eigenschaft erhalten hat, die Polarisationsebene zu drehen, so wird ein in *b* befindliches Auge die Polarisationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt so stark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies sehr sinnreich benutzt, um die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums sehr merklich zu machen.

Ein Parallelopiped von schwerem Glase, 2,5 Zoll lang, dessen Querschnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und versilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der andern Seite wurde sie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, so daß ein bei *a* etwas schräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf diese Weise 5, 7, 9 u. s. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, so ist die Drehung der Polarisationsebene 5, 7, 9 u. s. w. mal so groß, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 96.

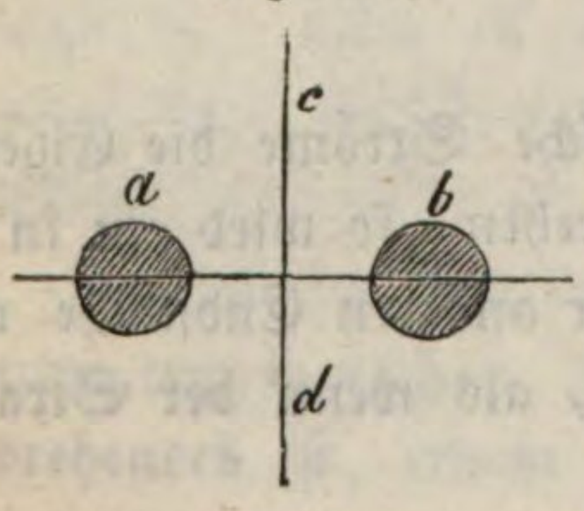


Abstoßende Wirkung der Magnete auf nicht magnetische Körper.

Ohne Zweifel wirken die magnetischen Kräfte auf die innere Constitution der Diamagnetica eben so frei im Dunkeln, wie wenn ein Lichtstrahl durch sie geht; ferner muß eine solche Abänderung auch opaken Körpern zukommen. Faraday hat dies durch weitere Versuchsreihen vollkommen bestätigt, er hat gezeigt, daß die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, daß aber die Wirkung auf magnetische Körper eine andere ist, als auf die diamagnetischen.

Bringt man einen Stab schweren Glases an Seidenfäden so aufgehängt, daß seine Längenaxe horizontal ist und er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann zwischen die beiden Pole eines sehr kräftigen Elektromagneten, welcher so gestellt ist, daß seine beiden Pole nach Oben gerichtet sind, so beobachtet man die merkwürdige Erscheinung, daß sich der Glasstab rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole stellt, und aus dieser Lage herausgebracht nach einigen Schwingungen stets wieder in dieselbe zurückkehrt.

Fig. 97.



In Fig. 97 seien *a* und *b* die beiden nach Oben gerichteten Pole eines vertikal gestellten kräftigen Elektromagneten, so ist *cd* die Lage, welche der Glasstab einnimmt. Hätte man statt des Glasstabes einen Eisenstab zwischen den Polen aufgehängt, so hätte er sich in die Richtung gestellt, welche die Magnetpole verbindet.

Faraday nennt die Richtung *ab* die axiale, *cd* die äquatoriale Lage. Ein Eisenstab stellt sich also zwischen den beiden Magnetnadeln axial, der Glasstab stellt sich äquatorial.

Eine Menge anderer Körper geben dasselbe Resultat; besonders stark zeigt sich die Kraft, welche den Stab in die äquatoriale Lage führt, beim Phosphor und Wismuth. Auch auf Flüssigkeiten übt der Magnet diese Wirkung aus.

Flintglas stellt sich ebenfalls äquatorial, wenn aber eine Röhre daraus sehr dünnwandig ist, giebt sie für sich allein nur eine sehr schwache Wirkung. Wird sie nun mit Flüssigkeit gefüllt, so ist die Wirkung so stark, daß man nicht zu fürchten braucht, den Effect des Glases mit dem der Flüssigkeit zu verwechseln.

Damit ein Körper die äquatoriale Stellung einnehme, ist es nöthig, daß er nach einer Richtung mehr ausgedehnt sey, als nach allen andern, daß er also eine längliche, stabförmige Gestalt hat. Hängt man eine Kugel oder einen Würfel von Phosphor oder Wismuth in der Mitte zwischen beiden Magnetpolen auf, so richtet sich dieser nicht; einem der Pole genähert beobachtet man aber eine Abstoßung, welche auffallend einer schwachen elektrischen Abstoßung ähnelt.

Auf die diamagnetischen Körper wirken also kräftige Magnetpole abstoßend; durch diese Abstoßung erklärt sich nun auch leicht, warum Stäbe diamagnetischer Körper sich zwischen den beiden Magnetnadeln äquatorial stellen.

In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen also alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetischen und die diamagnetischen. Die magnetischen stellen sich axial, die diamagnetischen stellen sich äquatorial.

Durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete ergiebt sich, daß die Klasse der magnetischen Körper zahlreicher ist, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweisen konnte, es stellen sich nämlich sehr schwach magnetische Körper, die sonst keine Spur von Magnetismus zeigen, zwischen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieses Mittel, daß außer den drei bekannten magnetischen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetisch sind.

Fast alle Eisenverbindungen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagneten als magnetisch, so z. B. grünes Bouteillenglas. Auch die Eisensalze sind magnetisch und stellen sich axial, mag man sie nun als Krystalle oder in aufgelöst'em Zustande in dünnwandigen Glasröhren anwenden.

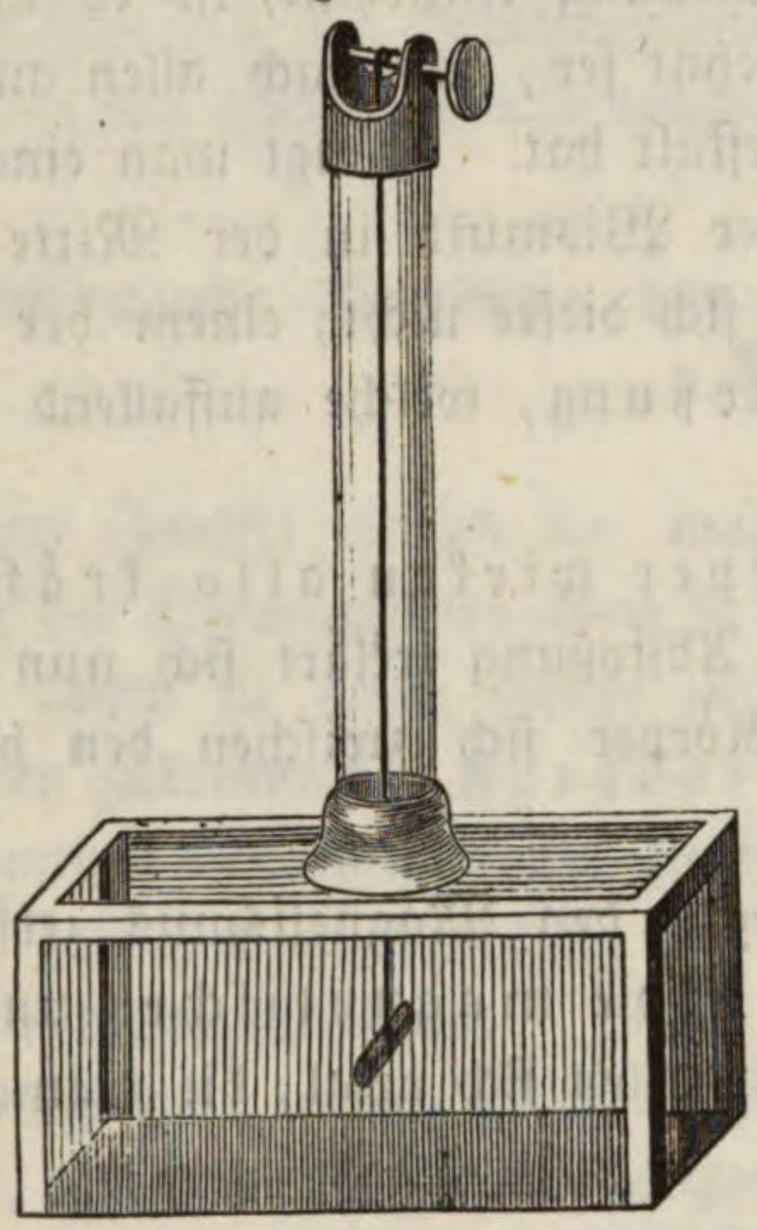
Der schon oben Seite 79 beschriebene Elektromagnet hat eine für Versuche über Diamagnetismus sehr geeignete Form.

Um Versuche mit diamagnetischen Körpern anzustellen, muß man die Magnetpole beliebig nähern können. Um dies zu erreichen, wird auf jeden Pol des Elektromagneten ein Stück weiches Eisen gelegt, von der Form, wie man sie Fig. 98 sieht. Auf einer Seite ist jedes dieser Eisenstücke konisch zugespitzt, und sie werden so auf die oberen Enden des Uförmigen Eisens aufgelegt, daß die Spitzen einander zugekehrt sind. Diese Spitzen bilden nun die Pole, zwischen denen der zu untersuchende Körper aufgehängt wird.

Fig. 98.

Um den zwischen den beiden Polen hängenden Körper vor Luftzug zu schützen, wird auf das Tischlein *t*, Fig. 70, aus welchem die Magnetpole hervorragen, ein Glaskasten gesetzt. Ein solcher Glaskasten von möglichst einfacher Einrichtung (die Kanten sind durch Papierstreifen verklebt) ist durch Fig. 99 dargestellt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 99



Beim Etter'schen Apparate hat dieser Aufsatz ganz die Einrichtung der Coulomb'schen Drehwage; auf der oberen Fassung der Röhre dreht sich ein getheilter Metallring, welcher die zum Aufwinden des Fadens dienende Welle trägt; durch diese Drehung kann man das zu untersuchende Stäbchen leicht in jede beliebige Lage bringen; die Theilung ist jedoch hier zwecklos, sie kann füglich wegbleiben, wenn man den Apparat nicht auch sonst noch gebrauchen will. Bei der Fig. 99 dargestellten Einrichtung steckt die Glasröhre unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist, man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre vertikale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Es ist zweckmäßig, das Stäbchen in einer Schleife des Fadens zu be-

festigen und nicht in ein Schiffchen zu legen, weil die Magnetpole schon auf die Substanz des Schiffchens wirken, wodurch die Resultate unsicher werden.

Hat man den zu prüfenden Körper gehörig aufgehängt, und den Glaskasten auf das Tischlein *t* gesetzt, während die Kette noch nicht geschlossen ist, so läßt man nun das Stäbchen herab, bis es zwischen den beiden Spitzen in der Mitte hängt; die Entfernung der beiden Spitzen muß etwas größer seyn als die Länge des Stäbchens. Wenn das Stäbchen in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und der äquatorialen in der Mitte liegt, so wird es, je nachdem seine Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist, entweder nach der axialen oder äquatorialen Lage hingetrieben, sobald man die Kette schließt; begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagneten sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äußerst langsamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

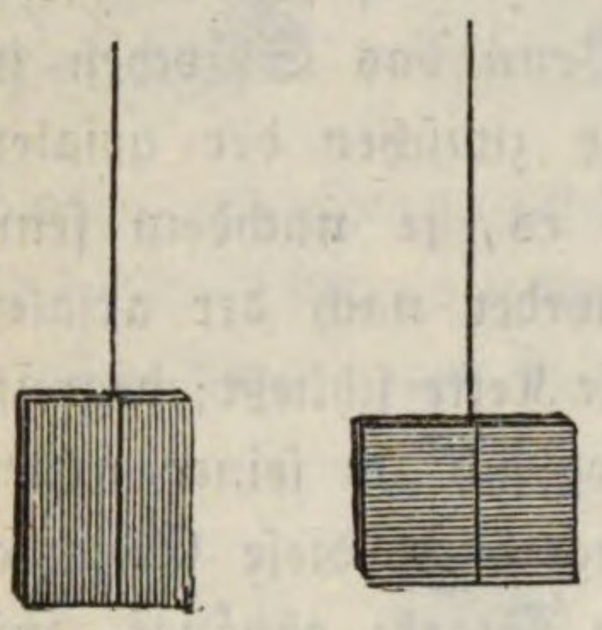
Die Abstoßung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole läßt sich am auffallendsten folgendermaßen zeigen. Man hänge statt des Stäbchens eine kleine Kugel von ungefähr $^3/_4$ Linie Durchmesser an den Seidenfaden, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Eisenstücke nähert man nun so weit, daß die Spitzen nur unbedeutend mehr von einander abstehen als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, daß das Kügelchen gerade in der Mitte zwischen den beiden Spitzen hängt, sobald man aber die Kette schließt, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so daß der Faden, an dem es hängt, merklich von seiner vertikalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Plücker hat viele doppeltbrechende Krystalle auf ihr Verhalten zwischen den Polen des Elektromagneten untersucht, und dabei eine sehr merkwürdige Eigenthümlichkeit der optischen Axe gefunden.

Eine Turmalinplatte, welche einer Turmalinzange entnommen, also parallel mit der Axe geschliffen war, wurde so aufgehängt, daß die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zusammenfiel (es ist dies in Fig. 507 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien sind der optischen Axe der Platte parallel). Die Platte stellt sich zwischen

den Polen des Elektromagneten axial; der Turmalin ist also eine magnetische Substanz (was wohl von seinem Eisengehalte herrührt). Nun wurde dieselbe Platte so aufgehängt, daß die Richtung der optischen Axe rechtwinklig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 101 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Fig. 100. Fig. 101.



Diese Erscheinung läßt sich durch die Annahme erklären, daß die Magnetpole eine abstoßende Wirkung auf die optische Axe ausüben; bei der ersten Aufhängungsart bildet die optische Axe die Umdrehungsaxe des Krystalls, jene Abstoßung der optischen Axe kommt also hier nicht in's Spiel, die Platte wird also in Folge ihrer magnetischen Eigenschaften axial gestellt; bei der zweiten Aufhängung aber überwindet die Abstoßung der optischen Axe die magnetische Anziehung und die Platte stellt sich äquatorial.

Ganz eigenthümliche Modificationen beobachtet man, wenn man statt der Turmalinplatte einen säulenförmig krystallisirten Turmalin anwendet, dessen Längendimensionen sehr entschieden vorherrschen. Hängt man diese Säule so auf, daß die Säulenaxe (welche hier mit der optischen Axe zusammenfällt) horizontal hängt, so stellt sich die Säule axial, wenn die Polspitzen so weit genähert sind, daß die Längenaxe der Säule nur noch eben zwischen ihnen Platz hat; werden dagegen die Polspitzen mehr entfernt, so stellt sich der Krystall äquatorial.

Statt die Polspitzen zu entfernen, ist es bequemer, sie unverändert zu lassen, und den Krystall durch Drehung der Welle, an welcher der Seidenfaden befestigt ist, zu heben.

Hängt der Krystall gerade zwischen den möglichst genäherten Polspitzen, so stellt er sich axial; hebt man ihn allmälig, so nimmt die Kraft, welche ihn axial stellt, ab, und bei einer bestimmten Hebung dreht er sich um 90^0, so daß er nun die äquatoriale Stellung einnimmt.

Bei großer Nähe der Polspitzen ist also der Magnetismus der Substanz, bei größerer Entfernung von den Polspitzen ist die Abstoßung der optischen Axe überwiegend.

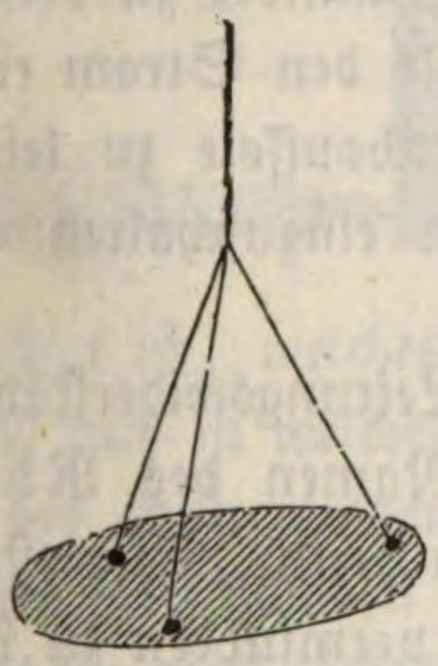
Versuche mit andern einaxigen Krystallen geben ähnliche Resultate, sie zeigen ebenfalls eine eigenthümliche Abstoßung der optischen Axe, welche unter Umständen die Wirkung der Magnetpole auf die übrige Masse überwiegen kann.

Die Masse des Kalkspaths z B. ist an und für sich diamagnetisch. Hält man nun eine senkrecht zur Axe geschliffene Kalkspathplatte, wie man sie braucht, um das Ringsystem zu zeigen, so auf, daß die Schnittflächen

vertikal sind, daß sich also die optische Axe des Krystalls in einer horizontalen Ebene umdrehen kann, so stellt sich die Platte bei möglichst genäherten Polspitzen äquatorial also in der Weise, daß die optische Axe des Krystalls mit den Verbindungslinien der beiden Polspitzen zusammenfällt. Hier also ist es jedenfalls der Diamagnetismus, welcher die Stellung der Platte bestimmt. Wird nun die Platte durch Umdrehung der Welle, an welcher der Faden befestigt ist, gehoben, so kommt man bald zu einer Stelle, wo sich der Krystall um 90° dreht, so daß er sich axial stellt, während die optische Axe der Platte rechtwinklig zur Verbindungslinie der Polspitzen steht; in dieser letzteren Lage hat nun die abstoßende Wirkung auf die optische Axe das Uebergewicht über diejenige Wirkung, welche die Magnetpole auf die Masse des Kalkspaths, als eine diamagnetische Substanz, ausüben.

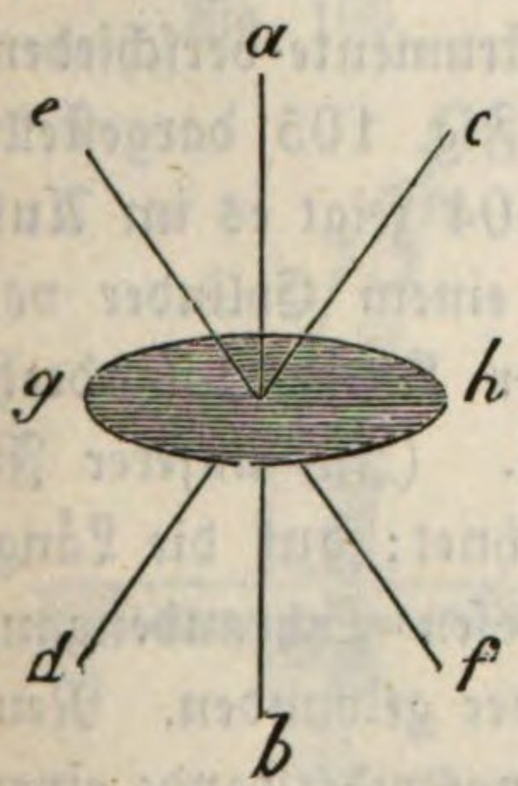
Zweiaxige Krystalle geben ähnliche Resultate, und zwar zeigt sich, daß jede optische Axe abgestoßen wird.

Fig. 102.



Einen entschiedenen Beweis für diese Behauptung liefert folgender, von Plücker angestellter Versuch. Eine Glimmerscheibe wurde kreisförmig geschnitten und so aufgehangen, daß ihre Ebene horizontal war, also in der Weise, wie es Fig. 102 andeutet. Mag nun der Glimmer an und für sich magnetisch oder diamagnetisch seyn, so ist deshalb kein Grund vorhanden, warum diese Scheibe irgend eine bestimmte Lage annehmen sollte, und doch stellte sich die Scheibe zwischen den Polspitzen stets so, daß die Ebene der optischen Axen rechtwinklig auf der Verbindungslinie der Polspitzen stand.

Fig. 103.



Bekanntlich liegt die optische Mittellinie des Glimmers rechtwinklig auf der Ebene der Blätter. In Fig. 103 stelle die schattirte Scheibe das kreisförmige horizontal hängende Glimmerblatt dar, so ist ab die Richtung der Mittellinie. Sind ferner cd und ef die optischen Axen, so ist gh die Linie, in welcher die Ebene der optischen Axen die Ebene des Glimmerblattes durchschneidet. Das Glimmerblatt wird nun zwischen den Polspitzen stets so gestellt, daß gh rechtwinkelig steht zur Verbindungslinie der Polspitzen.

Dies Resultat läßt sich nicht erklären durch eine Abstoßung der Mittellinie, sondern nur durch eine Abstoßung der beiden optischen Axen.

Andere Versuche mit zweiaxigen Krystallen gaben ähnliche Resultate.

Plücker fand ferner, daß sich Stäbchen von Holz und Kohle, Streifen aus der Rinde von Baumzweigen u. s. w. bei großer Nähe der Polspitzen äquatorial stellen, bei größerer Entfernung von den Polspitzen aber in die axiale Lage übergehen. Dies erklärt sich nun nach Plücker's Ansicht dadurch, daß diese Körper aus magnetischen und diamagnetischen Bestandtheilen bestehen, und daß die Wirkung der Pole auf die diamagnetischen Theilchen rascher mit der Entfernung abnimmt, als die Wirkung auf die magnetischen.

Durch Zusammenschmelzen von Stanniol, der wahrscheinlich wegen seines Eisengehaltes magnetisch war, mit Wismuth, der ja entschieden diamagnetisch ist, gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die, wie Holz und Kohle, bei nahen Polspitzen sich äquatorial, bei entfernten Polspitzen aber axial stellten.

Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbousole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Ganz außerordentlich wird die Bestimmung des Leitungswiderstandes durch ein Instrument erleichtert, welches unter dem Namen des Rheostaten bekannt ist; sein Zweck ist, nach Belieben den Leitungswiderstand im Schließungsbogen jeden Augenblick vermehren und vermindern zu können, ohne die Kette zu öffnen.

Solche Instrumente sind von Wheatstone, Jacobi und Pretina construirt worden; Wheatstone selbst hat dem Instrumente verschiedene Formen gegeben. Eine derselben ist Fig. 104 und Fig. 105 dargestellt. Fig. 105 zeigt das Instrument im Grundriß, Fig. 104 zeigt es im Aufriß, und zwar in $1/7$ der natürlichen Größe. Auf einem Cylinder von trockenem Holz, der um seine Axe mit Hülfe einer Kurbel umgedreht werden kann, ist ein Schraubengang eingeschnitten. (In unserer Figur ist derselbe verhältnißmäßig viel zu grob gezeichnet; auf die Länge des Cylinders gehen ungefähr 80 Umgänge.) In diesen Schraubengang ist ein Draht entweder von Messing oder von Neusilber gewunden. Neusilber bietet den Vortheil, daß man bei gleichem Leitungswiderstande einen dickern Draht wählen kann. Am einen Ende *a* des Cylinders ist der Draht auf dem Holze befestigt; am andern Ende *b* geht er durch ein Loch im Holze hindurch nach der eisernen Umdrehungsaxe des Cylinders, auf welcher er befestigt ist.

Neben dem Holzcylinder befindet sich ein Metallstab *c d*, welcher bei *c* eine Schraubzwinge zur Aufnahme von Drähten hat. Auf diesen Metallstab ist eine Metallhülse verschiebbar, an welcher ein Holzklötzchen

Fig. 104.

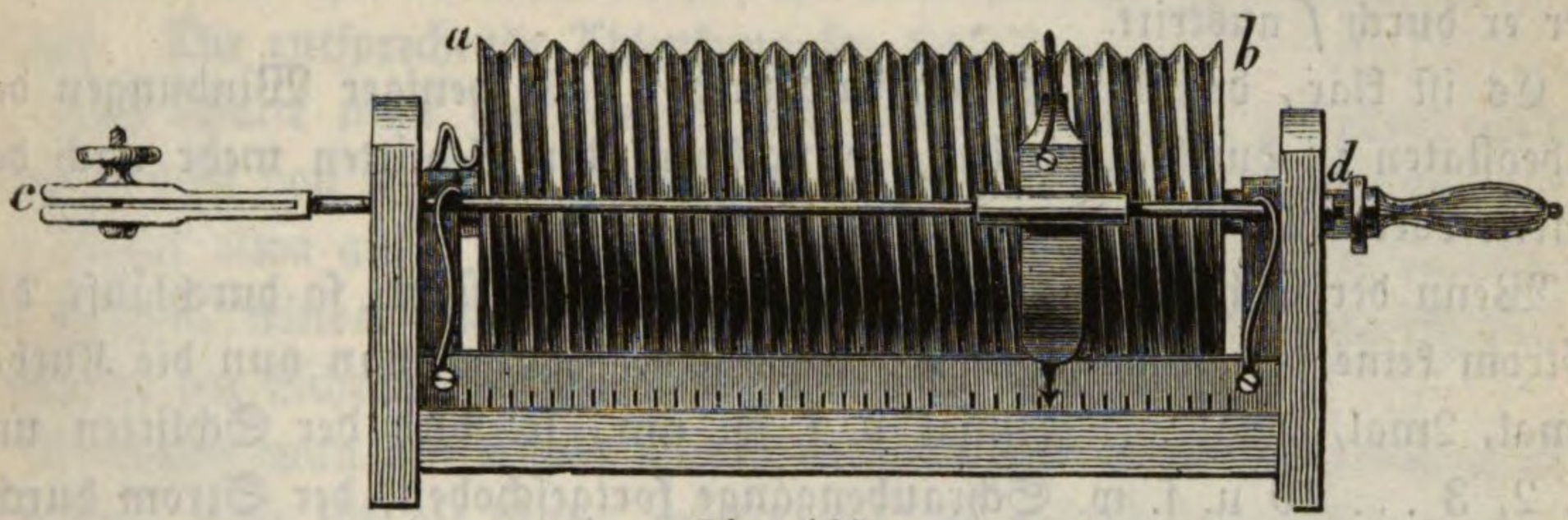
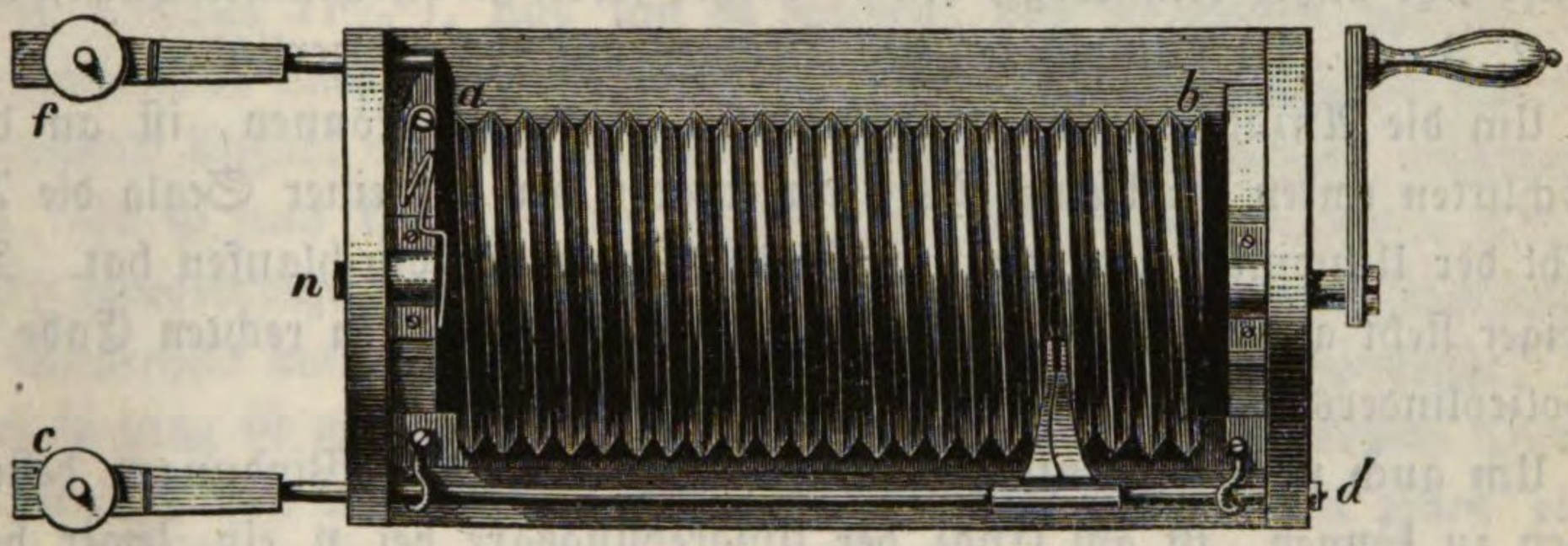


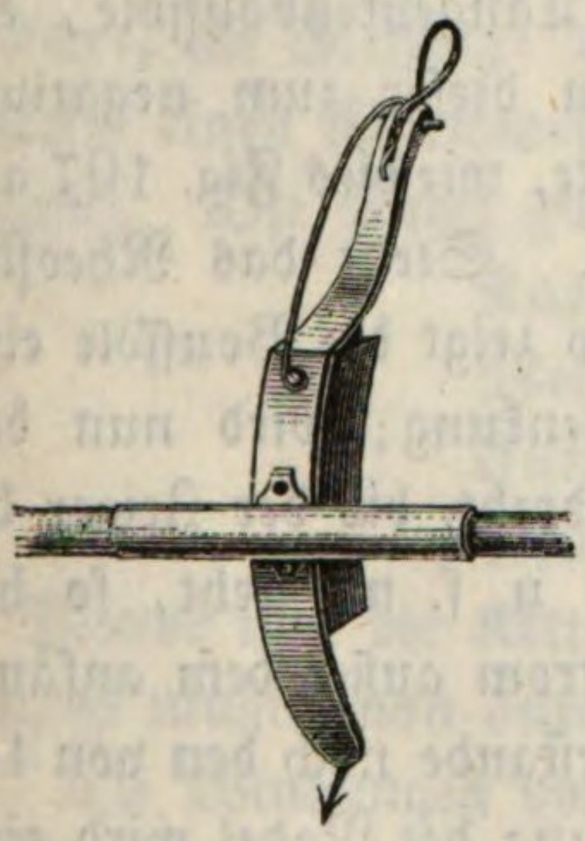
Fig. 105.



befestigt ist, welches den Raum zwischen ihm und dem Holzcylinder ausfüllt, und in welches Rinnen geschnitten sind, die in die Schraubengänge des Holzcylinders passen, so daß bei Umdrehung des Cylinders die Hülse fortgeschoben wird, und zwar nach der einen oder andern Seite, je nachdem man rechts oder links dreht.

An der Hülse ist auch ein federnder Metallbogen befestigt, der einen gewundenen Metalldraht gegen den Draht auf den Holzcylinder drückt. Der Berührungspunkt ändert sich natürlich, wenn die Hülse mit allem, was daran ist, durch Umdrehung des Cylinders fortgeschoben wird. Die Einrichtung der Hülse sammt Metallbogen und Holzklötzchen ist Fig. 106 in größerem Maaßstabe dargestellt.

Fig. 106.



Wenn nun bei *c* der eine, bei *f* der andere Polardraht einer galvanischen Kette eingeschraubt wird, so läuft der Strom folgendermaßen durch den Apparat:

Von *c* durch die Stange *c d* bis zur verschiebbaren Hülse, von dieser durch den Metallbogen und seinen Draht auf den Draht des Holzcylinders, von dem Berührungspunkte des Schlittens

an durchläuft er dann alle Windungen nach der rechten bis *b*, geht auf die metallene Axe des Holzcylinders und auf dieser durch denselben der Länge nach hindurch. Auf der andern Seite drückt auf die Metallaxe eine Drahtfeder, welche den Strom auf eine Metallplatte *g* führt, von der er durch *f* austritt.

Es ist klar, daß der Strom bald mehr, bald weniger Windungen des Rheostaten zu durchlaufen hat, je nachdem der Schlitten mehr nach der linken oder rechten Seite geschoben ist.

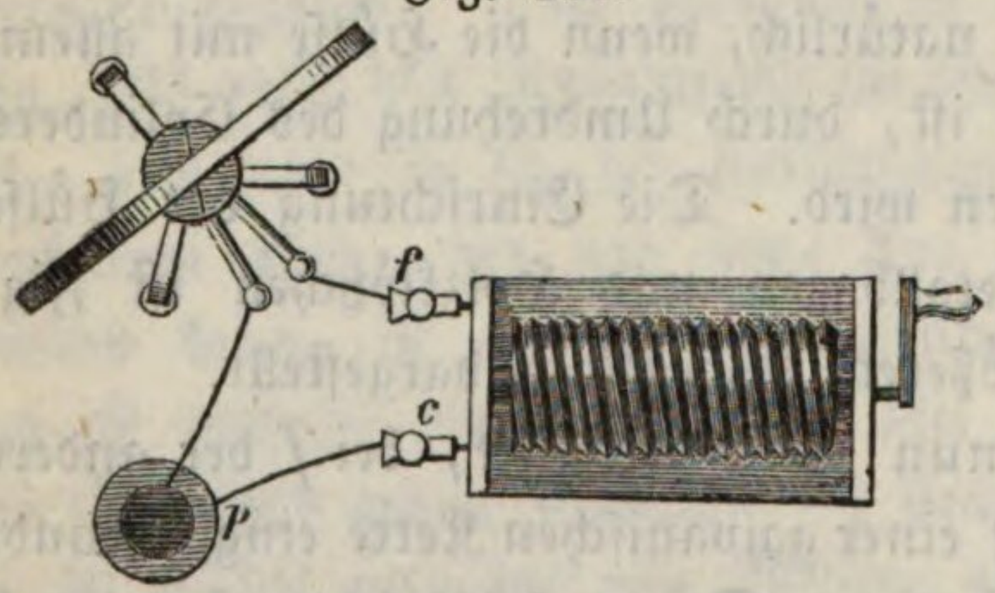
Wenn der Schlitten am Ende *b* des Cylinders steht, so durchläuft der Strom keine der Windungen des Cylinders. Dreht man nun die Kurbel 1mal, 2mal, 3mal . . . 10mal u. s. w. um, so wird der Schlitten um 1, 2, 3 ... 10 u. s. w. Schraubengänge fortgeschoben, der Strom durchläuft jetzt außer dem Wege, den er vorher schon zu durchlaufen hatte, noch 1, 2, 3 . . . 10 Windungen des Drahtes auf den Holzcylinder.

Um die Anzahl der Windungen besser zählen zu können, ist an dem Schlitten unten ein kleiner Pfeil angebracht, der auf einer Scala die Anzahl der Umwindungen zeigt, welche der Strom zu durchlaufen hat. Der Zeiger steht auf Null, wenn der Schlitten am äußersten rechten Ende des Holzcylinders steht.

Um auch noch die Unterabtheilungen der einzelnen Windungen bestimmen zu können, ist am Ende der Umdrehungsaxe bei *n* ein Zeiger befestigt, welcher den Radius eines am Rande in 10 gleiche Theile getheilten Kreises bildet, der in unseren Figuren natürlich unsichtbar ist. Dieser Zeiger steht auf 0, wenn der Zeiger des Schlittens auf 0, 1, 2, 3 ... 10 u. s. w. steht. Nehmen wir an, der Zeiger des Schlittens stehe zwischen 16 und 17, der Zeiger bei *n* stehe auf 6, so hat der Strom 16,6 Windungen zu durchlaufen.

Bei *c* sey der positive Pol der Kette eingeklemmt; von *f* führe ein Draht zur Tangentenbouſſole, ein anderer von dieser zum negativen Pol der Kette, wie dies Fig. 107 angedeutet ist. Steht das Rheostat auf Null, so zeigt die Bouſſole eine gewisse Ablenkung; wird nun das Rheostat gedreht, bis der Zeiger bei 10, 20, 30 u. s. w. steht, so hat nun der Strom außer dem anfänglichen Widerstande noch den von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden, die Ablenkung der Nadel wird eine entsprechende Abnahme erfahren. Wenn man die einer jeden Stellung des Schlittens entsprechende Ablenkung notirt, so lassen sich mit dem

Fig. 107.



Rheostaten auf die bequemste Weise die auf Seite 566 entwickelten Gesetze nachweisen.

Um zu beweisen, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte, stelle man zunächst den Rheostaten auf Null. Die entsprechende Ablenkung sey $51\frac{1}{2}^0$.

Nun schalte man an irgend einer Stelle, etwa bei *c*, einen Kupferdraht, etwa von 5 Meter Länge und 0,26 Linie Durchmesser ein, so wird die Nadel etwa auf 37 zurückgehen. (Um solche Drähte bequem handhaben zu können, windet man sie am besten auf einen trocknen Holzcylinder, in welchem ein Schraubengewinde eingeschnitten ist.)

Nachdem man den Draht wieder entfernt und die Kette wieder geschlossen hat, stellt sich die Nadel wieder auf die ursprüngliche Stelle (in unserem Beispiel $51\frac{1}{2}^0$), und um zu machen, daß sie wieder auf 37^0 zurückgeht, muß man durch Drehung des Rheostaten den Schlitten um eine bestimmte Anzahl von Windungen, z. B. um 4,2 Windungen voranschieben. Es ist nun klar, daß der eingeschaltete Kupferdraht denselben Widerstand hervorbringt, wie 4,2 Windungen des Drahtes auf dem Rheostaten.

Wiederholt man nun denselben Versuch mit einem Kupferdraht, der eben so lang ist wie der eben betrachtete, aber von halb so großem Durchmesser, so wird man finden, daß dieser dünnere Kupferdraht einen eben so großen Widerstand ausübt, wie $16\frac{3}{4}$ Windungen des Drahtes auf das Rheostat; der Widerstand des halb so dicken Kupferdrahtes ist also 4mal größer.

Um den Leitungswiderstand verschiedener Metalle zu vergleichen, kann man den Versuch in der Weise anordnen, wie es in folgendem Beispiel der Fall war.

Das Rheostat, auf 0 gestellt, gab der Boussole einen Ausschlag von $51\frac{1}{2}^0$. Es wurde nun der Reihe nach eingeschaltet ein Kupfer-, ein Eisen-, ein Messing- und ein Neusilberdraht. Alle waren 5^m lang und hatten einen Durchmesser von 0,26‴ (alle waren durch dasselbe Loch gezogen). Die Nadel ging zurück beim

Kupferdraht auf	37^0
Messingdrath	19^0
Eisendrath	$12\frac{3}{4}^0$
Neusilberdrath	$6\frac{3}{4}^0$

Wurde nun die Kette wieder ohne Einschaltung von Drähten geschlossen, so mußte man durch Drehen des Rheostaten den Schlitten um

4,2 Windungen voranschieben, um die Nadel auf 37^0 zu bringen.
16,6 » » » » » » 19^0 » »
29,5 » » » » » » $12\frac{3}{4}^0$ » »
65 » » » » » » $6\frac{3}{4}^0$ » »

Es ist also der Widerstand des

Kupferdrahtes gleich dem von 4,2 Windungen des Rheostats.
Messingdrahtes „ „ „ 16,6 „ „ „
Eisendrahtes „ „ „ 29,5 „ „ „
Neusilberdrahtes „ „ „ 65 „ „ „

Die Leitungsfähigkeit des Kupfers, Messings, Eisens und Neusilbers verhält sich umgekehrt wie diese ihnen äquivalenten Längen des Drahtes auf dem Rheostat, setzt man also die Leitungsfähigkeit des Kupfers gleich 100, so ist die des

Messings	25,3
Eisens	14,2
Neusilbers	6,4.

Nach Pouillet's Versuchen, die jedoch nach einer andern Methode angestellt worden waren, verhält sich die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle, wie folgende Tabelle angiebt.

Silber	136
Gold	103
Kupfer	100
Zink	28 (Becquerel)
Platin	22
Eisen	17
Queckſilber	2,6.

D. h. ein Kupferdraht von 100 Fuß Länge leistet einem elektrischen Strome einen ebenso großen Widerstand, wie gleich dicke Drähte von Silber, Zink, Platin, Eisen u. s. w., welche resp. 136, 28, 22, 17 Fuß lang sind.

Rieß hat nach der auf S. 57 angedeuteten Methode die Leitungsfähigkeit der Metalle folgendermaßen bestimmt:

Silber	148
Kupfer	100
Messing	28
Eisen	17
Platin	15.

Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten.

Das Ohmische Gesetz läßt sich nicht so direct auf Flüssigkeiten anwenden, welche in den Schließungsbogen eingeschaltet werden, wie auf Metalle, denn man hat außer dem Widerstande, welchen der Strom bei seinem Durchgange durch die Flüssigkeit zu überwinden hat, noch einen andern Widerstand beim Uebergange, den Strom von Metall in die Flüs-

sigkeit und umgekehrt, in Rechnung zu bringen. Bei Berücksichtigung dieses Widerstandes gilt das Ohmische Gesetz auch für flüssige Leiter.

Die Existenz eines solchen Widerstandes läßt sich am einfachsten durch folgenden von Fechner angegebenen Versuch nachweisen. In einen Trog *a*, Fig. 108, wurden eine Zinkplatte *z* und eine Kupferplatte *k* einander gegenüber gestellt, der Trog mit Flüssigkeit gefüllt und die Kette geschlossen, wie es in der Figur durch die Linie angedeutet ist, und dann die Stromstärke bestimmt. Nun wurde ein zweiter gleicher Trog *B* mit zwei Kupferplatten daneben gestellt, eben so hoch mit derselben Flüssigkeit gefüllt und die Kette geschlossen, wie in Fig. 109 angedeutet ist.

Fig. 108.

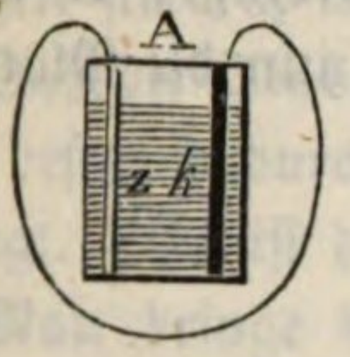
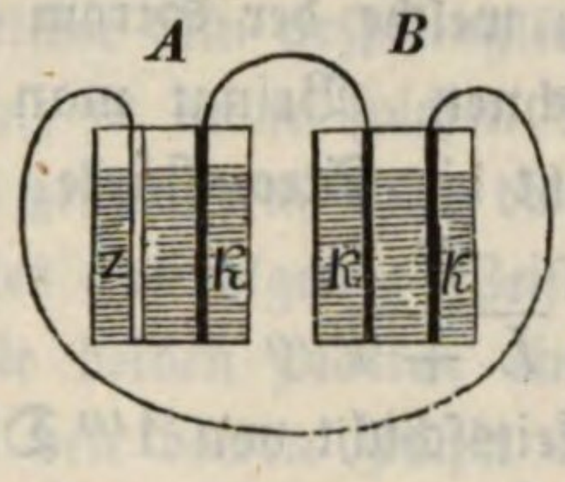


Fig. 109.



Dabei wurden aber die Platten *k* und *z* im Troge *A* genähert und die Platten *kk* in *B* in solche Entfernung gebracht, daß die Entfernungen von *k* und *z* im Troge *A* und die Entfernung der Platten *kk* in *B*, Fig. 109 zusammen, so groß war wie die Entfernung der Platten im Troge *A*, Fig. 108. Unter sonst ganz gleichen Umständen hatte also der Strom in beiden Fällen denselben Weg durch die Flüssigkeit zurückzulegen; die Stromstärke für beide Fälle war aber nicht gleich, sie war in dem letzten Falle fast nur halb so groß wie im ersteren. Diese Schwächung der Stromstärke kann nur einem Widerstande beim Uebergange von Metall in der Flüssigkeit zugeschrieben werden; denn bei gleicher Länge des zu durchlaufenden flüssigen Leiters, gegen dessen Widerstand der des metallischen Schließungsbogens ganz verschwindet, hat im letzten Falle der Strom noch einmal mehr aus Metall in Flüssigkeit, und dann wieder von der Flüssigkeit in das Metall überzugehen.

Auch folgender Versuch von Lenz beweis't sehr augenscheinlich die Existenz dieses Widerstandes. In einem viereckig ausgefüllten Holztrog, welcher mit verdünnter Salzsäure gefüllt war, waren zwei Kupferplatten in einer Entfernung von 1 Linie einander gegenüber gestellt, und dann ein galvanischer Strom durchgeleitet worden. Der Meßapparat gab eine Ablenkung von 47°. Nun wurde der Versuch mit zwei Platinplatten wiederholt, die eben so groß wie die Kupferplatten, in gleicher Entfernung in derselben Flüssigkeit eingetaucht waren. Nun erhielt man nur 9° Ablenkung. In einer Verschiedenheit der Leitungsfähigkeit der festen Theile konnte die Ursache dieser Verschiedenheit nicht liegen, der flüssige Leiter war in beiden Fällen derselbe, der Unterschied konnte also nur daher rühren, daß der Widerstand an der Berührungsstelle größer ist für Platin und Salzsäure, als für Kupfer und Salzsäure.

Will man den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit an und für sich ermitteln, so muß man die Versuche so anordnen, daß der eben besprochene Widerstand eliminirt werden kann, was leicht möglich ist. Es werde ein Strom durch die Flüssigkeit hindurchgeleitet, während die beiden Platten 1 Linie von einander abstehen, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{L},$$

wenn E die elektromotorische Kraft, welche der Strom bedingt, L aber die Summe aller Widerstände bezeichnet. Bringt man nun die Platten in die doppelte Entfernung, so ist jetzt die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{L + l'}$$

wo l den Widerstand einer Flüssigkeitsschicht von 1‴ Dicke bezeichnet, die jetzt noch hinzugekommen ist; alles übrige, also auch der Widerstand an der Berührungsstelle des Metalles und der Flüssigkeit ist unverändert geblieben. Durch Combination dieser beiden Gleichungen läßt sich l bestimmen.

Nach Lenz ist der Leitungswiderstand einer Lösung von Kupfervitriol 6857500mal so groß, als der des Kupfers, d. h. der Leitungswiderstand einer Schicht von Kupfervitriollösung ist eben so groß, wie der einer 6857500mal so langen Kupferstange von gleichem Querschnitt. Außer diesem Widerstande hat aber der Strom auch noch den Uebergangswiderstand zu überwinden, wenn man ihn durch die Lösung des Kupfervitriols hindurchleiten will.

Nach Pouillet, welcher übrigens den sogenannten Uebergangswiderstand nicht berücksichtigt, ist die Leitungsfähigkeit des Wassers 0,0025, wenn man die der Kupfervitriollösung mit 1 bezeichnet.

Für gesäuerte Flüssigkeit ist der Uebergangswiderstand ungleich geringer, als für reines Wasser, und daher mag es wohl vorzugsweise kommen, daß die Leitung des Stromes so sehr erleichtert wird, wenn man dem Wasser etwas Säure zugießt.

Galvanische Polarisation.

Der so eben besprochene Uebergangswiderstand rührt von der sogenannten galvanischen Polarisation her; mit diesem Namen bezeichnet man die dem ursprünglichen Strome entgegenwirkende Ladung der Platten, welche wir schon bei der Theorie der constanten Kette kennen gelernt haben, und welche daher rührt, daß sich die Platten, zwischen denen der Strom durch die Flüssigkeit übergeht, in Folge der Zersetzung der Flüs-

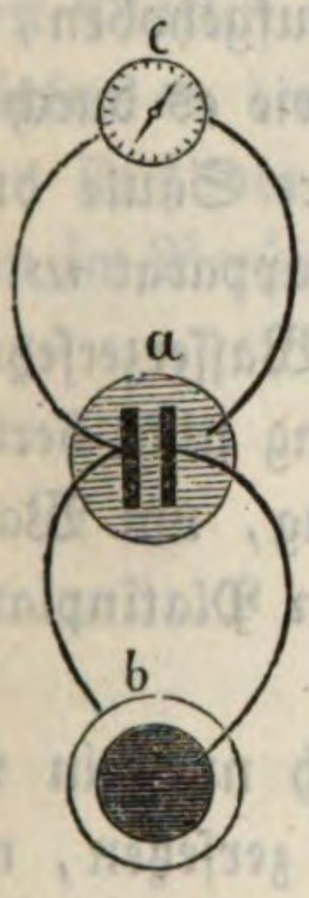
sigkeit mit einer Schicht von Stoffen überziehen, welche in Berührung mit der Platte elektromotorisch wirken.

Wenn man in den Schließungsbogen einer Kette einen Wasserzersetzungsapparat einschaltet, dessen Platten von Platin seyn mögen, so werden sie ebenfalls eine solche Polarisation erfahren, d. h. durch Ablagerung solcher Schichten werden sie selbst zu elektromotorischen Elementen, welche dem ursprünglichen Strome entgegenwirken, und einen Strom zu erzeugen streben, welcher dem ursprünglichen entgegengesetzt ist.

Daß die Tendenz zu einem solchen Gegenstrom vorhanden ist, läßt sich am besten dadurch zeigen, daß man diesen Strom wirklich zur Entstehung bringt. Es ist dies auf folgende Weise möglich:

Man bringe die beiden Platten eines Wasserzersetzungsapparates mit den beiden Polen einer galvanischen Kette in Berührung, wie dies durch Fig. 110 angedeutet ist, wo *a* den Wasserzersetzungsapparat, *b* die galvanische Kette darstellen soll. (Es ist zu diesem Versuche nur ein Element nöthig.) Hat die Schließung nur ganz kurze Zeit gedauert, so sind die Platten in *a* geladen; öffnet man die Kette, bringt man alsdann die eine Platte von *a* mit dem einen, die andere mit dem andern Drahtende eines Multiplicators *c* in Berührung, so wird die Multiplicatornadel abgelenkt und zeigt einen Strom an, welcher dem durch die Kette *b* im Wasserzersetzungsapparat *a* hervorgebrachten entgegengesetzt ist.

Fig. 110.



Diese Erscheinung erklärt uns auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungssäule.

Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derselben mit den Polen einer galvanischen Kette von hinlänglichen Spannungen verbindet, so wird die Säule ganz in derselben Weise geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Wasserzersetzungsapparates. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe solcher Zersetzungszellen, deren Platten sämmtlich polarisirt geladen werden. Trennt man die secundäre Säule (auch so wird die Ladungssäule genannt) von der galvanischen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, so ist sie nun selbst im Stande, die Erscheinungen einer galvanischen Kette hervorzubringen; sie zeigt an dem einen Theil positive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher den der ladenden Kette entgegengesetzt ist, kann selbst chemische Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine ganz secundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'schen oder Bunsen'schen

Element, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich stärkere Widerstände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Element.

Fig. 111.

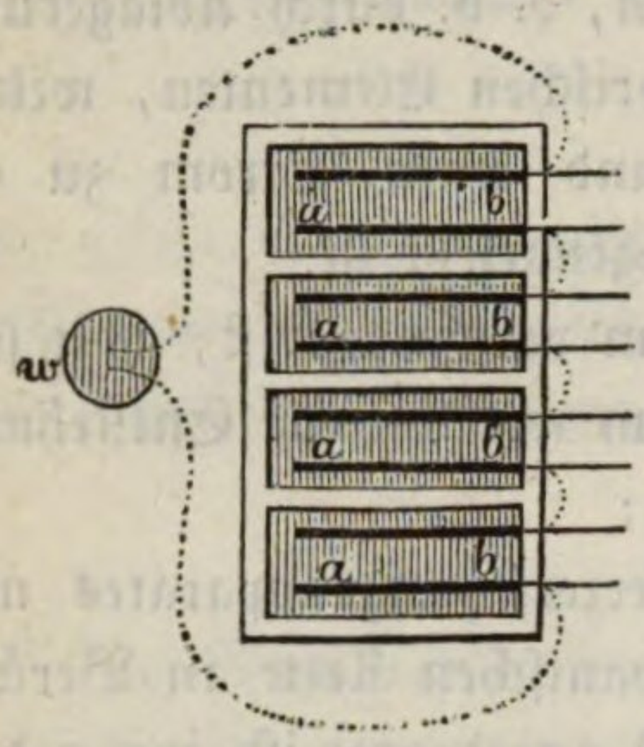


Fig. 111 stelle eine secundäre Säule dar, die aus 4 Paaren von Platinplatten besteht; jedes Paar befindet sich in einem besonderen Troge. Werden nun alle Platinplatten, die in unserer Figur mit *a* bezeichnet sind, mit dem einen, alle mit *b* bezeichneten mit dem anderen Pole des ladenden Elements verbunden, so wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar ist die Ladung für alle Paare dieselbe. Wird nun die Verbindung mit dem primären Element aufgehoben, die Platinplatte nach dem Princip der Säule so verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist, und dann die secundäre Säule durch einen Bogen geschlossen, in welchem ein Wasserzersetzungsapparat *w* eingeschaltet ist, so entsteht ein Strom, welcher eine kräftige Wasserzersetzung erzeugt, während das ladende Element eine solche Zersetzung nicht hervorbringt. Das primäre Element hat nicht Spannung genug, um Wasser zu zersetzen, welche man erhält, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Princip der Säule combinirt.

Der Entladungsstrom der secundären Säule ist natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Wasser zu zersetzen, muß man rasch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entsprechender Weise mit den Polen der primären Kette verbinden und alsbald wieder eine neue Entladung bewerkstelligen können. Poggendorff hat einen sehr sinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen sehr rasch ausgeführt werden können. Die Beschreibung der Wippe würde uns zu weit führen.

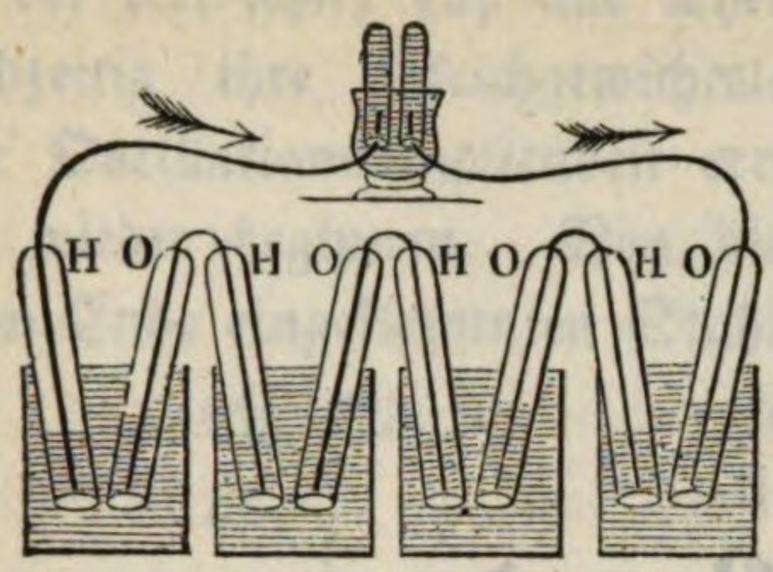
Eine solche Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2^1/_2$ Quadratzoll groß waren und mit einem Grove'schen Element geladen wurden, lieferten bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Kubikzoll Knallgas.

Die Platinplatten der Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

Die von Grove construirte Gasbatterie gehört auch in die Kategorie der Ladungssäulen. In Fig. 112 ist eine solche Gasbatterie abgebildet.

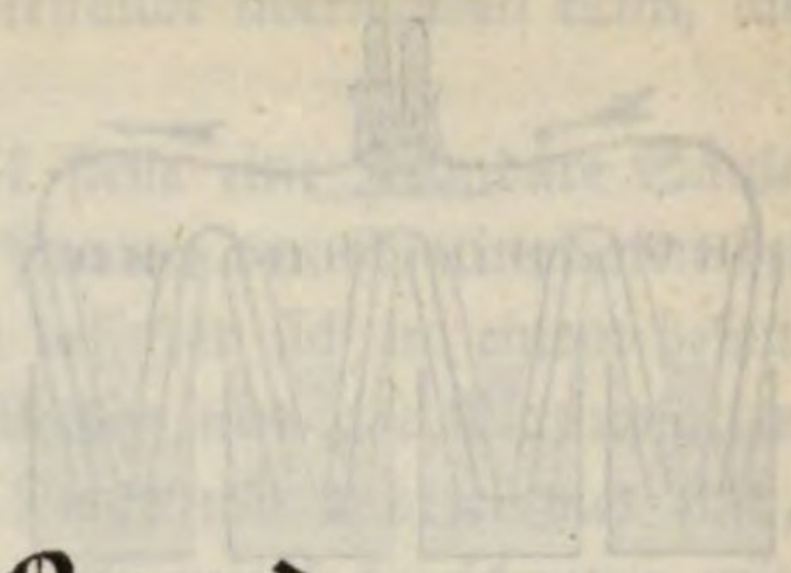
In jedem der mit verdünnter Schwefelsäure gefülltem Gefäße stehen zwei oben zugeschmolzene Glasglöckchen, in welchen sich mit Platinmoor überzogene Platinstreifen befinden. Ein in dem Glöckchen oben einge-

Fig. 112.



schmolzener Platindraht verbindet je zwei Platinstreifen in der Weise, wie man es in der Figur sieht. Der obere Theil der mit *H* bezeichneten Glöckchen enthält Wasserstoffgas, die mit *O* bezeichneten dagegen enthalten Sauerstoffgas. Eine Batterie von 50 Elementen mit ungefähr ¼ Zoll breiten Platinstreifen gab einen Schlag und sehr bedeutende Wasserzersetzung.

Die Wirksamkeit dieser Batterie rührt von der Bekleidung ihrer Platten mit respective Sauerstoff und Wasserstoff her. Der Unterschied zwischen ihr und der gewöhnlichen Ladungssäule besteht bloß in der Art, wie den Platten das Gas zugeführt wird. Bei der Ladungssäule werden die Gasen an den Platten selbst entwickelt, bei der Gasbatterie hingegen werden sie zuvor außerhalb der Batterie erzeugt, und dann erst mit den Platten in Berührung gesetzt.



Zweiter Band.

Akustik.

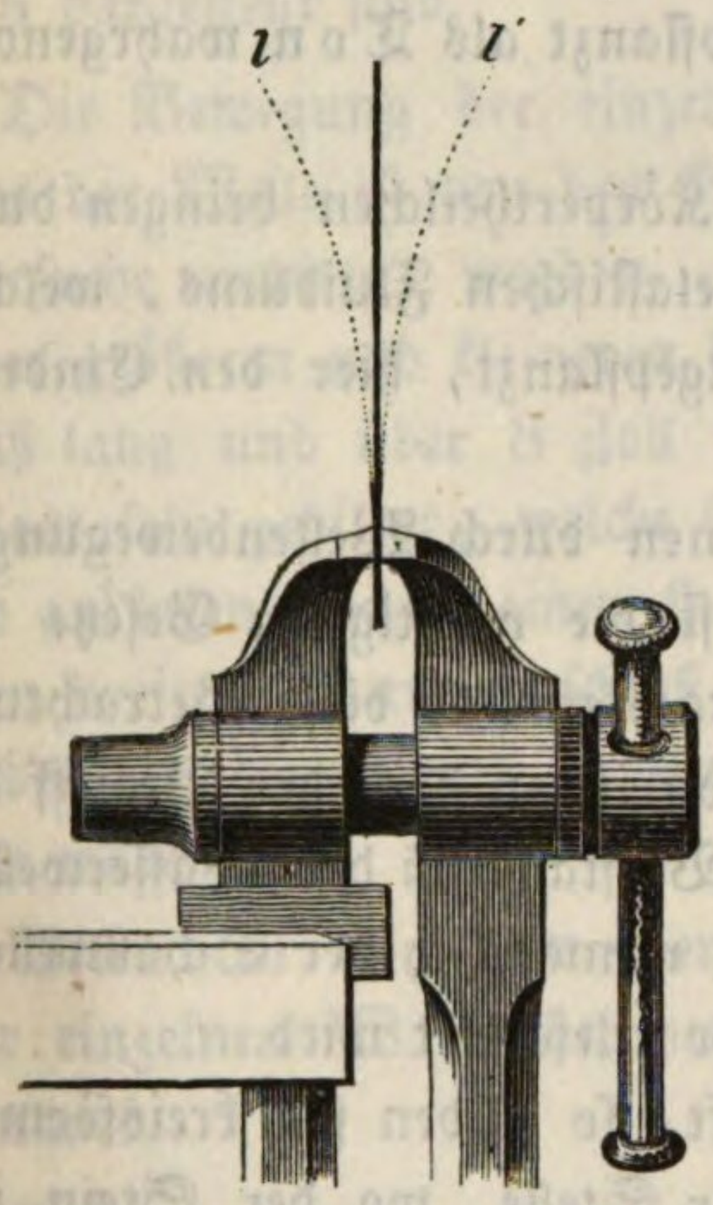
Die Lehre vom Schall hat schon in der zweiten Auflage eine gänzliche Umwandlung erfahren, indem die Grundzüge der Wellenbewegung, ohne welche ein klares Verständniß der Schallphänomene nicht möglich ist, und welche in der ersten Auflage so gut wie ganz fehlen, mit großer Sorgfalt bearbeit wurden. Die Gesetze der Wellenbewegung im Allgemeinen und der Schallwelle insbesondere sind also hier noch nachzutragen.

Wenn ein Pendel aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht wird und dann sich selbst überlassen bleibt, so wird es zunächst durch die Schwere seiner Gleichgewichtslage wieder zugeführt, in derselben angelangt, kann es aber nicht in Ruhe bleiben, weil es mit einer Geschwindigkeit ankommt, die es über die Gleichgewichtslage hinaustreibt, und so macht denn das Pendel eine Reihe von Schwingungen, deren Gesetze wir schon oben betrachtet haben.

Bei der Bewegung des Pendels bleibt die gegenseitige Lage der Theilchen desselben unverändert. Wenn aber die gegenseitige Lage der einzelnen Theilchen eines Körpers durch irgend eine äußere Ursache gestört wird, so werden dieselben, wenn irgend Kräfte vorhanden sind, welche die ursprüngliche Gleichgewichtslage wieder herzustellen streben, ebenfalls in eine oscillatorische Bewegung gerathen, welche sich von der Pendelbewegung wesentlich dadurch unterscheidet, daß sich die gegenseitige Lage der Partikelchen mit jedem Momente ändert; man hat also hier nicht allein die Oscillationsbewegung eines einzelnen Theilchens, sondern auch die Veränderungen in der gegenseitigen Lage der Theilchen zu betrachten.

Die Oscillationsbewegung der einzelnen Theilchen eines Körpers kann von der Art seyn, daß alle Theilchen gleichzeitig in Bewegung gerathen, gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage passiren, gleichzeitig die Gränzen ihrer Oscillationsamplituden erreichen und dann gleichzeitig ihren Rückweg wieder beginnen. Von dieser Art sind die Vibrationen eines an einem Ende eingeklemmten Stahlstreifens, Fig. 113, einer zwischen zwei

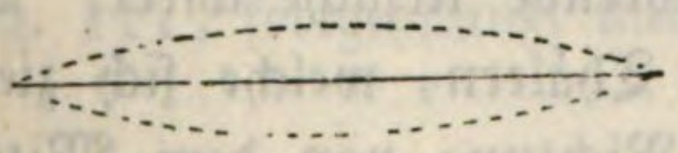
Fig. 113.



festen Punkten ausgespannten Saite, Fig. 114. Solche Schwingungen nennt man nach Weber »stehende Schwingungen.«

Wenn die Bewegungen der einzelnen Theilchen von der Art sind, daß die Vibrationsbewegung von Theilchen zu Theilchen fortschreitet, daß jedes folgende Theilchen dieselben Oscillationen macht wie das vorhergehende, nur mit dem Unterschiede, daß es seine Bewegung später beginnt, so sind dies fortschreitende Schwingungen. Durch die fortschreitenden Schwingungen werden Wellen erzeugt. Die Bewegung, das Fortschreiten der Welle ist hier wesentlich von der Oscillation der einzelnen Theilchen zu unterscheiden.

Fig. 114.



Beispiele von Wellenbewegung liefert uns eine ruhige Wasserfläche, auf welche man einen Stein fallen läßt, ein langes gespanntes Seil, gegen welches man nahe am einen Ende einen kräftigen Schlag führt, die Schallwellen in der Luft u. s. w. Wir werden diese verschiedenen Wellenbewegungen alsbald näher betrachten.

Die Vibrationsbewegungen können nun je nach der Ursache der Störung des Gleichgewichtes, je nach der Natur der Kraft, welche die Theilchen wieder in die Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, bald größer, bald kleiner seyn, so daß dadurch die äußere Gestalt der Körper merkliche oder unmerkliche Formveränderungen erleidet; die Vibrationen können langsamer oder schneller seyn; sie sind oft langsam genug, daß man die einzelnen Schwingungen mit dem Auge verfolgen und zählen, oft sind sie aber auch so schnell, daß man die einzelnen Oscillationen nicht mehr für sich unterscheiden kann.

Wenn die Vibrationsbewegung eines Körpers einen gewissen Grad von Geschwindigkeit überschreitet, so kann ihre Gesammtwirkung noch einen

gewissen Eindruck hervorbringen, indem sie in den umgebenden Medien Wellenbewegungen erzeugt, durch welche sie, bis zu besonders eingerichteten Sinnes-Organen fortgeleitet wird und hier eine eigenthümliche Empfindung veranlaßt.

So veranlassen Vibrationen, deren Geschwindigkeit innerhalb gewisser bald näher zu besprechender Grenzen liegt, in der Luft oder anderen elastischen Medien Wellen, welche, in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen bestehend, bis zum Ohre fortgepflanzt als Ton wahrgenommen werden.

Noch ungleich schnellere Vibrationen der Körpertheilchen bringen durch die Wellenbewegung eines eigenthümlichen elastischen Fluidums, welches wir Aether nennen, bis in unser Auge fortgepflanzt, hier den Eindruck des Lichtes hervor.

Da nun sowohl Schall- als Lichtvibrationen durch Wellenbewegungen fortgepflanzt werden, so wollen wir zunächst die wichtigsten Gesetze der Wellenbewegung überhaupt etwas näher betrachten und diese Betrachtung mit den Wasserwellen beginnen, weil von ihnen doch der Begriff der Welle entnommen ist und weil durch das Verständniß der Wasserwellen das Verständniß anderer Wellenbewegungen, namentlich der Schallwellen, welche uns hier vorzugsweise interessiren, sehr erleichtert wird.

Wenn man einen Stein ins Wasser wirft, so bilden sich kreisförmige Wellen, welche von einem Mittelpunkte (der Stelle, wo der Stein ins Wasser fiel) aus nach allen Richtungen sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit verbreiten, wenn nicht irgend eine störende Ursache wirkt. Die Wellen bestehen in abwechselnden Bergen und Thälern, welche sich ziemlich rasch einander folgen und welche in der Richtung von dem Mittelpunkte nach außen hin fortschreiten.

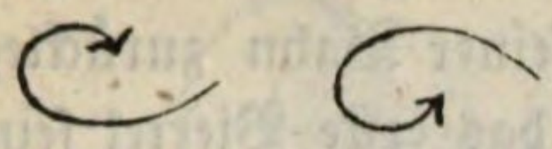
Während nun ein Wellenberg nach außen hin fortschreitet, nehmen nicht etwa auch die einzelnen Wassertheilchen an dieser fortschreitenden Bewegung Antheil, denn wenn ein Stückchen Holz auf dem Wasser schwimmt, so sieht man, wie es abwechselnd gehoben wird und sich dann wieder senkt, wenn Wellenberge und Wellenthäler gleichsam unter ihm wegziehen.

Die Kraft, durch welche die Wasserwellen hier fortgepflanzt werden, ist die Schwere, denn wenn durch irgend eine Ursache in der horizontalen Wasserfläche eine Erhöhung oder Vertiefung hervorgebracht wird, so wirkt alsbald die Schwere der einzelnen Wassertheilchen, um die gestörte horizontale Ebene wieder herzustellen, dadurch wird eine Oscillationsbewegung hervorgebracht, welche nach und nach von Theilchen zu Theilchen fortgepflanzt wird.

Sobald sich einmal regelmäßige Wellen gebildet haben, beschreiben die

einzelnen Wassertheilchen an der Oberfläche während des Fortschreitens der Welle in sich zurückkehrende Kurven, welche im Falle der größten Regelmäßigkeit Kreise sind, nur in solchen Fällen, in welchen der dem Gipfel vorangehende Theil des Wellenberges dem folgenden nicht gleich ist, beschreiben die einzelnen Wassertheilchen Kurven, die nicht in sich geschlossen sind, von der Art, wie sie in Fig. 115 und Fig. 116 dargestellt sind.

Fig. 115. Fig. 116.

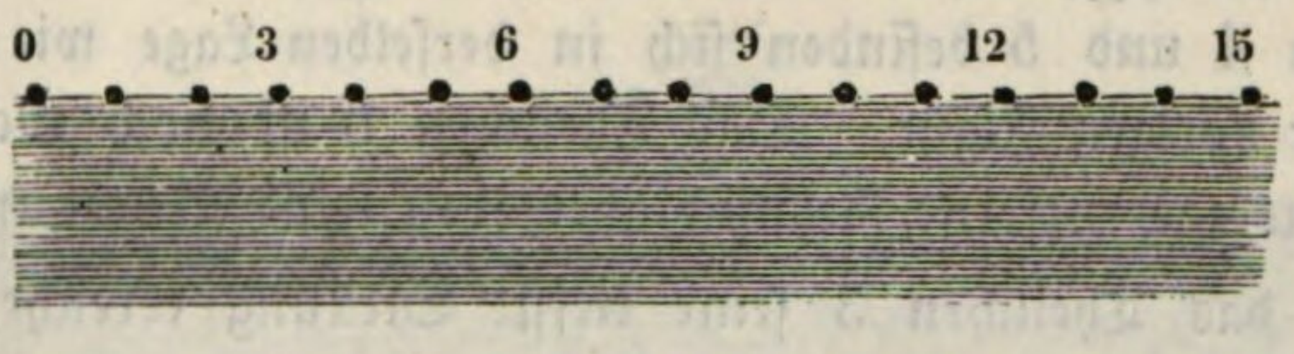


Die Bewegung der einzelnen Wassertheilchen während des Fortschreitens der Welle ist von den Gebrüdern Weber durch eine Reihe genauer Versuche ermittelt worden. Sie bedienten sich hier zu diesen Versuchen einer größeren und kleineren Wellenrinne. Die kleinere war ungefähr $5\frac{1}{2}$ Fuß lang und über 8 Zoll tief; die beiden Seitenwände wurden durch Glastafeln gebildet, welche 6,7 Linien weit von einander abstanden; bei der größeren, welche einen 6 Fuß langen, 2,5′ tiefen und 1 Zoll 1,4 Linien breiten Raum einschloß, waren die Seitenwände durch Bretter gebildet, in denen nur an einzelnen Stellen Glasstreifen wasserdicht eingesetzt waren.

Betrachten wir nun den Zusammenhang zwischen der Bewegung der einzelnen Wassertheilchen und dem Fortschreiten der Welle etwas genauer.

Nehmen wir an, eine ganz regelmäßige Wellenbewegung habe sich, von der Linken zur Rechten fortschreitend, bis zu dem Wassertheilchen 0, Fig. 117, fortgepflanzt und veranlasse dieses Theilchen, nun eine kreisförmige Bahn zurückzulegen. Während nun das Theilchen 0 zum ersten Male seine Kreisbahn vollendet, wird die Bewegung eine bestimmte Strecke sich fortpflanzen. Das mit 12 bezeichnete Wassertheilchen sey nun dasjenige, bis zu welchem sich die Oscillationsbewegung von 0 aus fortpflanzt, während 0 eine Umdrehung vollendet, so wird 12 seine erste Umdrehung in demselben Momente beginnen, in welchem 0 seine zweite Umdrehung beginnt.

Fig. 117.



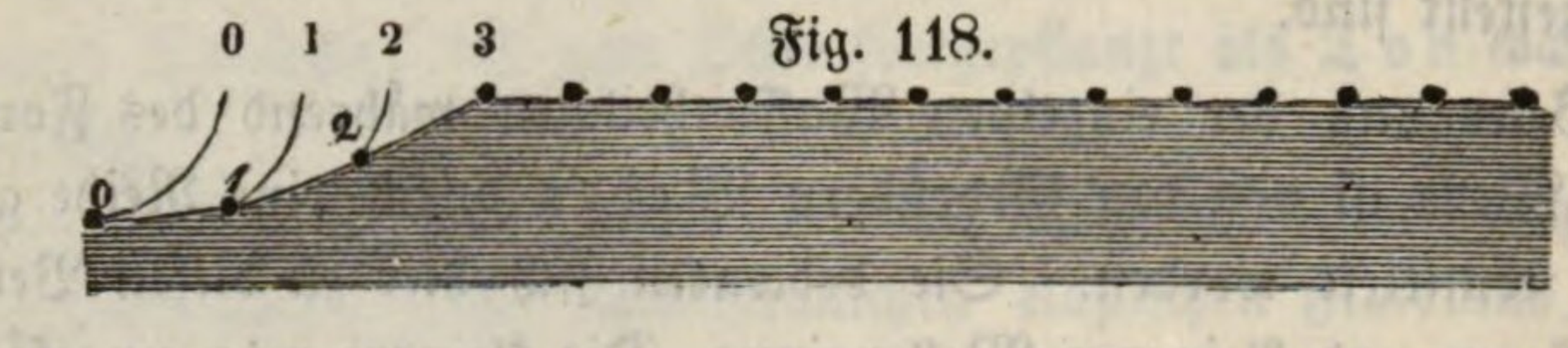
Denken wir uns nun den Umfang des Kreises, welchen das Theilchen 0 beschreibt, und ebenso den Raum zwischen 0 und 12 in 12 gleiche Theile getheilt, so wird die Wellenbewegung in der Richtung von 0 nach

12 immmer um eine Abtheilung weiter schreiten, während das Theilchen 0 $^1/_{12}$ seiner kreisförmigen Bahn zurücklegt.

Während das Theilchen 0 das erste Zwölftel seiner Bahn zurücklegt, pflanzt sich die Wellenbewegung bis 1, während 0 das erste Viertel seiner Bahn zurücklegt, pflanzt sie sich bis 3 fort.

Fig. 118 stellt den Moment dar, in welchem das Theilchen 0 den

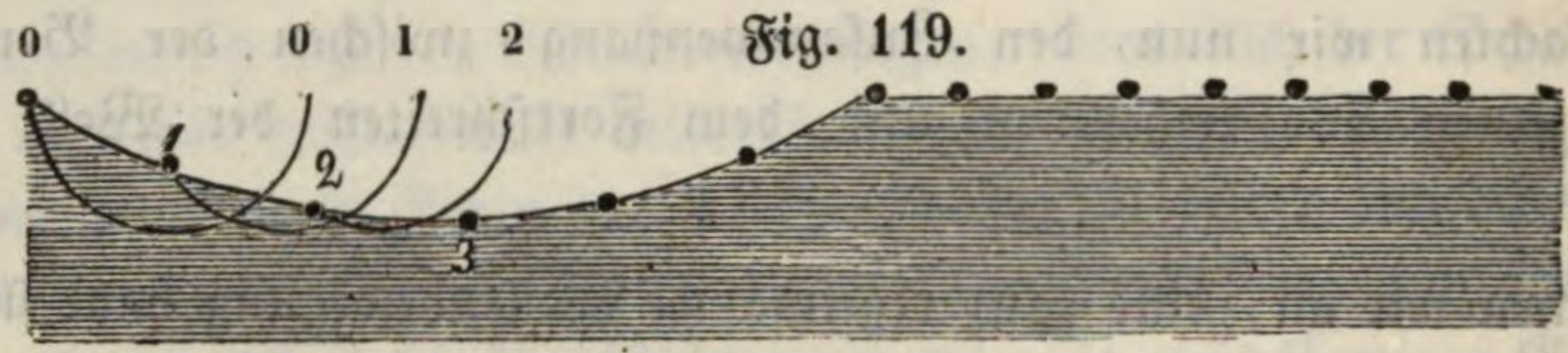
Fig. 118.



vierten Theil oder $^3/_{12}$ des Kreises zurückgelegt hat, den es durchlaufen soll; das Theilchen 1 hat in diesem Augenblicke $^2/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^1/_{12}$ seiner Kreisbahn zurückgelegt, das Theilchen 3 ist noch nicht aus seiner Gleichgewichtslage verrückt.

Die Fig. 119 bezieht sich auf den Augenblick, in welchem das Theilchen

Fig. 119.



0 die Hälfte seiner Bahn zurückgelegt hat; das Theilchen 1 hat $^5/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^4/_{12}$, das Theilchen 3 hat $^3/_{12}$ seiner Bahn zurückgelegt, die Theilchen 4 und 5 befinden sich in derselben Lage wie die Theilchen 1 und 2 der vorigen Figur. Das Theilchen 6 ist noch nicht aus seiner Gleichgewichtslage entfernt, beginnt aber eben seine Bewegung.

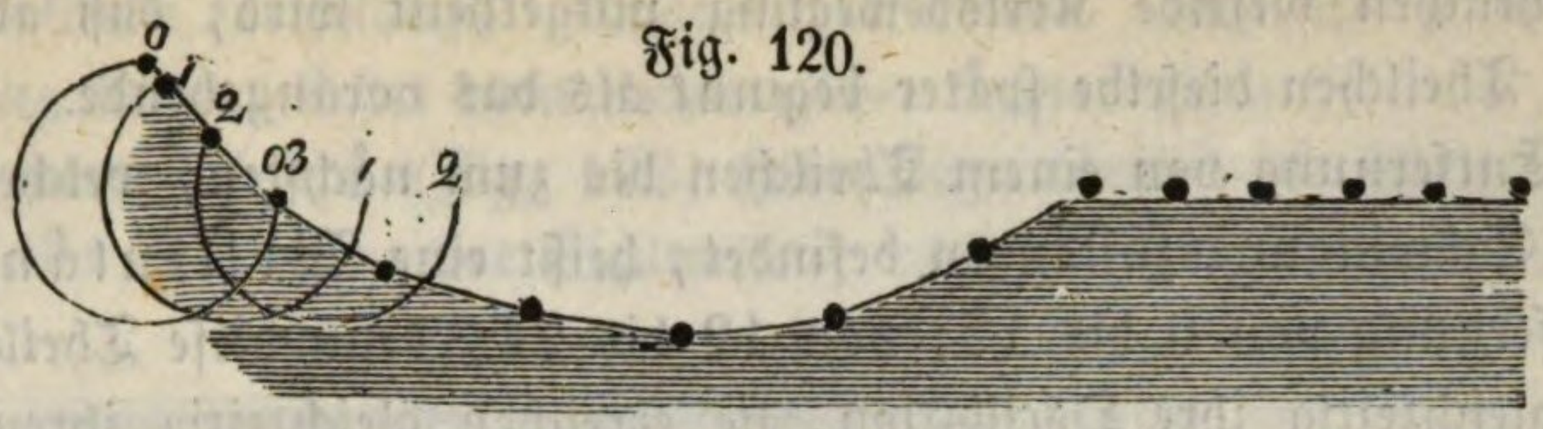
Hier hat das Theilchen 3 seine tiefste Stellung erreicht, hier ist die Mitte eines Wellenthales.

Wenn nun abermals $^1/_{12}$ der Zeit vergangen ist, welche ein Theilchen braucht, um seinen Kreislauf ganz zu vollenden, so wird das Theilchen 3 in eine solche Lage gegen seine ursprüngliche Stellung gekommen seyn, wie es jetzt für das Theilchen 2 der Fall ist, das Theilchen 4 hat seine tiefste Stellung erreicht, es ist um $^1/_4$ Kreis von seiner Gleichgewichtslage entfernt; das Wellenthal ist also in diesem Zeittheilchen von 3 bis 4 fortgerückt.

Fig. 120 stellt den Moment dar, wo das Theilchen 0 $^3/_4$ seines Weges zurückgelegt, wo es den höchsten Punkt seiner Bahn erreicht hat, hier ist also der Gipfel eines Wellenbergs. Das Theilchen 1 hat bereits $^8/_{12}$,

2 hat $^7/_{12}$, 3 hat $^6/_{12}$ ſeiner Bahn zurückgelegt; die Theilchen 4, 5, 6, 7, 8

Fig. 120.



befinden ſich in derſelben Lage, wie 1, 2, 3, 4 und 5 der vorigen Figur. Von dem Momente an, auf welchen ſich Fig. 119 bezieht, bis zu dem Momente, welchen Fig. 120 darſtellt, iſt das Wellenthal von 3 bis 6 fortgerückt.

Während das Theilchen 0 das letzte Viertel ſeiner Bahn zurücklegt, ſchreitet der Wellenberg von 0 bis 3, das Wellenthal von 6 bis 9 fort, und in demſelben Moment, wo 0 ſeine Bahn zum erſten Male zurückgelegt hat und ſie zum zweiten Male zurückzulegen beginnt, wird das Theilchen 12 zum erſten Male ſeine Bahn beginnen.

Dieſer Moment iſt in Fig. 121 dargeſtellt, welche wohl keiner Erläuterung mehr bedarf.

Fig. 121.

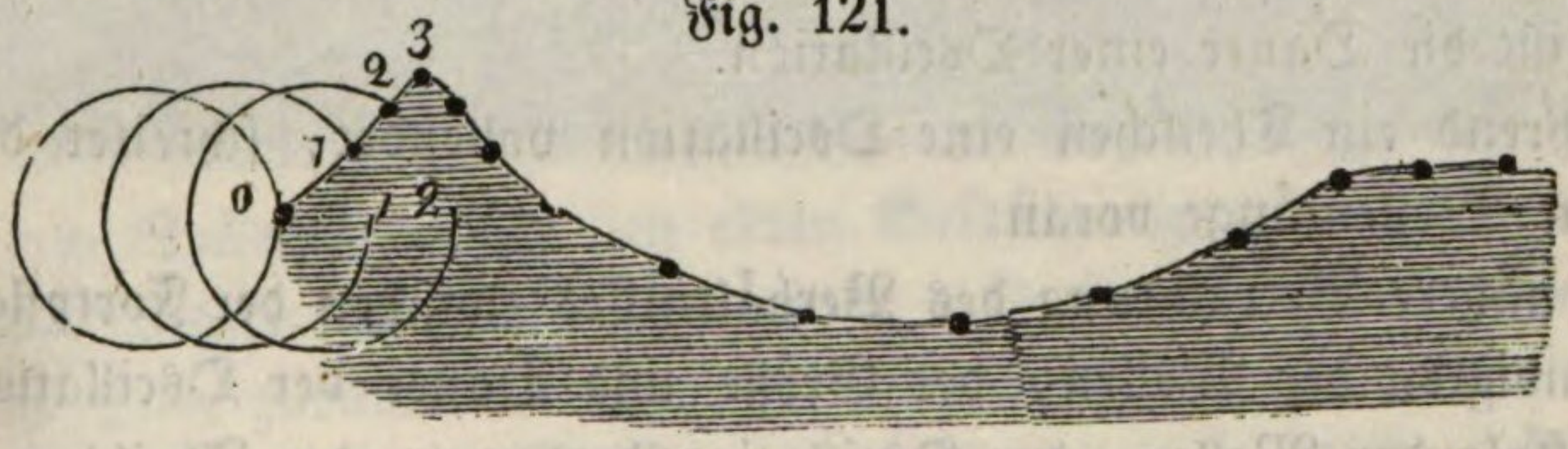
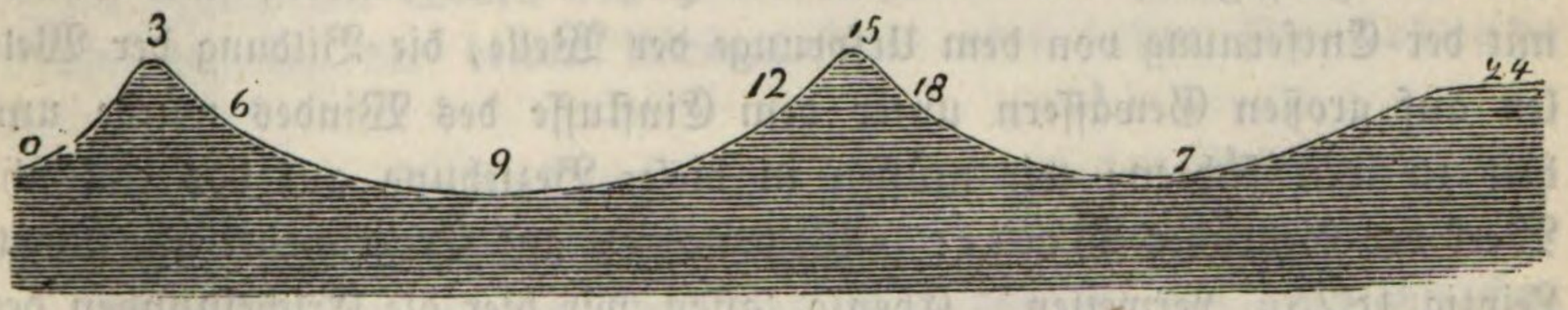


Fig. 122.



Die Fig. 122 ſtellt den Augenblick dar, in welchem 0 zum zweiten Male ſeine Bahn zurückgelegt hat; in dieſem Moment wird 12 ſeinen Weg zum erſten Male gemacht und die Bewegung überhaupt ſich bis 24 fortgepflanzt haben; ein Wellenberg iſt in 3, ein zweiter in 15, ein Wellenthal in 9, ein zweites in 21.

Wenn nun die Wellenbewegung ungeſtört fortdauert, ſo werden dadurch, daß die einzelnen Waſſertheilchen fortfahren, ihre Kreisbahnen zu durchlaufen, die Wellenberge ſowohl als die Wellenthäler gleichmäßig in der Richtung von der Linken zur Rechten fortſchreiten, indem ein Theilchen nach dem andern den höchſten oder tiefſten Punkt ſeiner Bahn erreicht.

So schreitet denn Wellenberg und Wellenthal dadurch voran, daß allen Wassertheilchen dieselbe Kreisbewegung mitgetheilt wird, daß aber jedes folgende Theilchen dieselbe später beginnt als das vorangehende.

Die Entfernung von einem Theilchen bis zum nächsten, welches sich in gleichen Schwingungszuständen befindet, heißt eine Wellenlänge, also die Entfernung von 0 bis 12, von 12 bis 24, denn diese Theilchen beginnen gleichzeitig ihre Oscillation, sie erreichen gleichzeitig ihren tiefsten und ihren höchsten Stand. Demnach ist auch die Entfernung von dem Gipfel eines Wellenberges bis zum nächsten, also in unserer Figur von 3 bis 15, von der Mitte eines Wellenthales bis zur Mitte des nächsten Wellenthales, also hier von 9 bis 21, eine Wellenlänge.

Solche Theilchen, welche um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge von einander entfernt sind, wie 0 und 6, 3 und 9, 9 und 15, befinden sich stets in entgegengesetzten Schwingungszuständen. Das Theilchen 9 z. B. bildet eben den tiefsten Punkt eines Wellenthales, 3 und 15 dagegen den Gipfel eines Wellenberges. Die Theilchen 0 und 6 befinden sich zwar beide in der Höhe ihrer Gleichgewichtslage, allein die Bewegung von 0 ist nach unten, die von 6 ist nach oben gerichtet.

Die Zeit, welche ein Theilchen braucht, um eine Oscillation zu vollenden, heißt die Dauer einer Oscillation.

Während ein Theilchen eine Oscillation vollendet, schreitet die Welle um eine Wellenlänge voran.

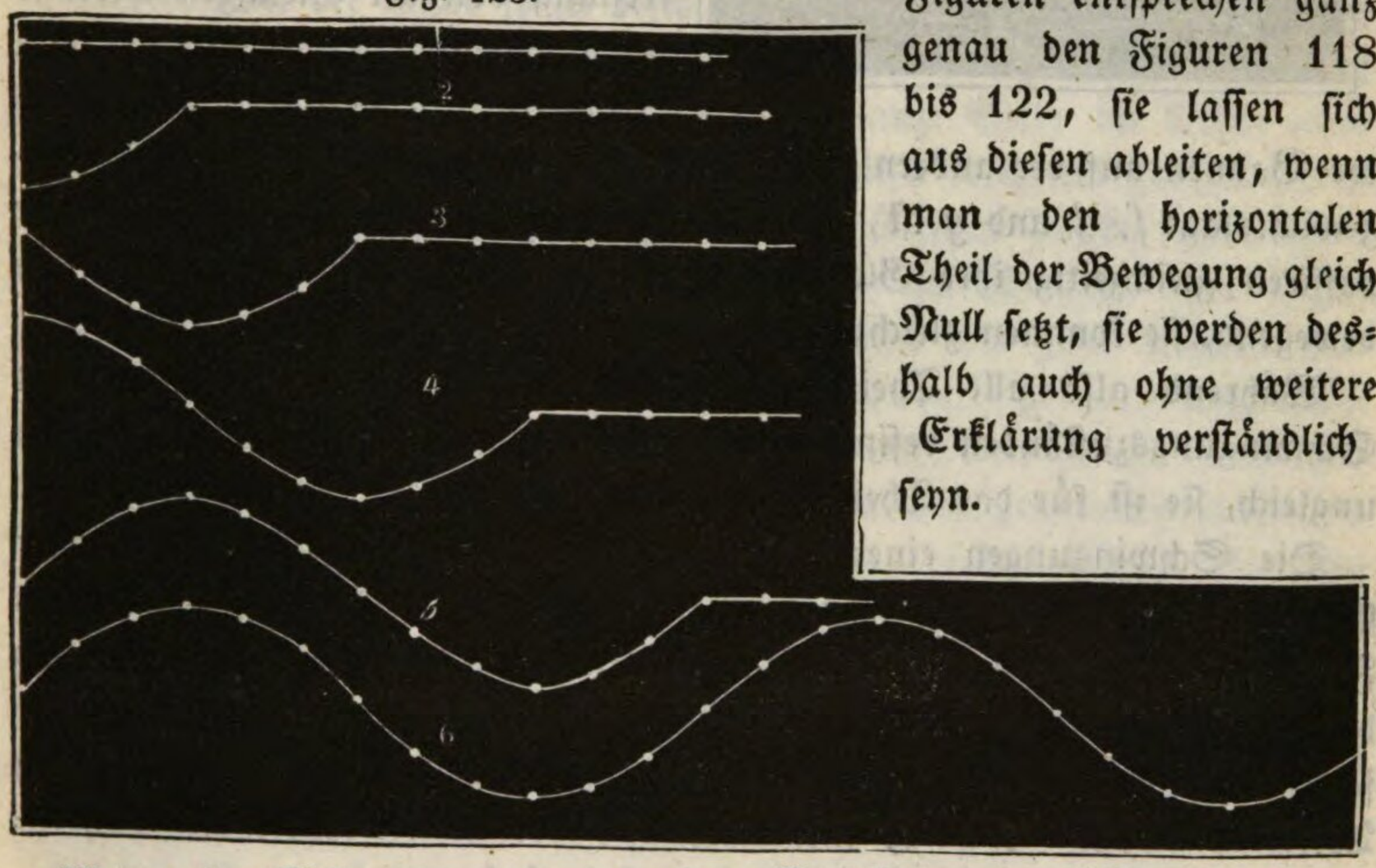
Die nähere Betrachtung des Verhältnisses zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, der Größe und Dauer der Oscillationen und der Gestalt der Wellen, der Oscillationsbewegung der Theilchen im Innern der Flüssigkeit, der Abnahme der Höhe der Wellenberge und Thäler mit der Entfernung von dem Ursprunge der Welle, die Bildung der Wellen auf großen Gewässern unter dem Einflusse des Windes würde uns hier zu weit führen; wir müssen in dieser Beziehung auf das classische Werk der Gebrüder Weber: »Wellenlehre, auf Experimente gegründet, Leipzig 1825«, verweisen. Ebenso lassen wir hier die Erscheinungen der Reflexion und Interferenz der Wasserwellen unberücksichtigt, da wir die entsprechenden Erscheinungen bei den Schall- und Lichtwellen doch näher untersuchen müssen.

Es ist schon bemerkt worden, daß die Bahnen der Wassertheilchen nicht immer, wie wir in unseren Zeichnungen annahmen, genau kreisförmig, ja nicht einmal immer in sich selbst zurückkehrende Kurven sind. Häufig geht die kreisförmige Bahn in eine elliptische über, indem bald der horizontale, bald der vertikale Durchmesser der größere ist. Wäre der horizontale Durchmesser gleich Null, so würden die einzelnen Theilchen nur rechtwinklig auf der Richtung, nach welcher sich die Wellen fortpflanzen, auf und

nieder oscilliren. Eine Bewegung der Art ist es, welche die Wellen am gespannten Seile fortpflanzt. Später werden wir auch eine solche Wellenbewegung bei der Lehre vom Lichte näher kennen lernen.

Die Figuren 1 bis 6 (Fig. 123) sollen dazu dienen, die Fortpflanzung solcher Wellen, also etwa der Seilwellen, anschaulich zu machen. Diese Figuren entsprechen ganz genau den Figuren 118 bis 122, sie lassen sich aus diesen ableiten, wenn man den horizontalen Theil der Bewegung gleich Null setzt, sie werden deshalb auch ohne weitere Erklärung verständlich seyn.

Fig. 123.



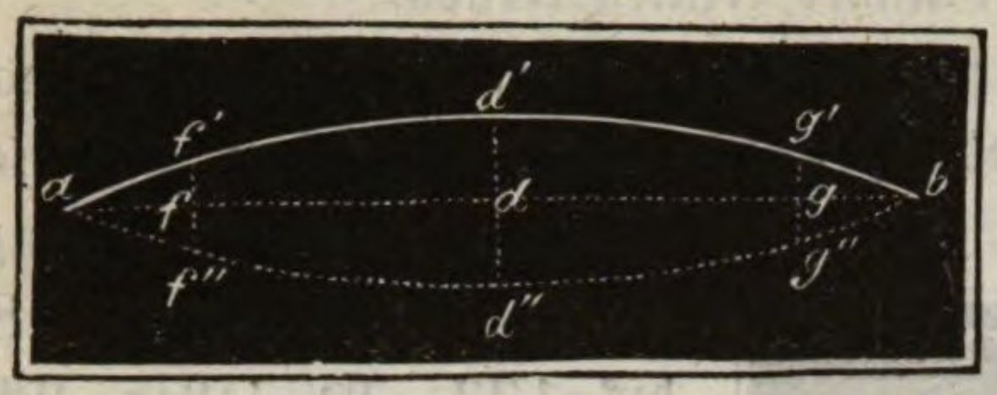
Wenn eine Seilwelle, gegen den einen Befestigungspunkt fortschreitend, an demselben angekommen ist, so wird sie reflectirt, sie kehrt wieder nach dem andern Ende zurück und läuft so mehrmals hin und her. Wenn aber nun fortwährend neue Wellen erzeugt werden, so wird es kommen, daß die reflectirten Wellen den neu ankommenden begegnen, durch das Zusammenwirken der beiden Wellensysteme aber bilden sich stehende Wellen.

Die Bildung stehender Seilwellen durch das Zusammenwirken (Interferenz) des directen und des reflectirten Wellensystems wollen wir hier nicht näher untersuchen, weil wir später doch die auf ganz ähnlichen Principien beruhende Bildung stehender Luftwellen durch die Interferenz eines directen und eines reflectirten Wellensystems einer genaueren Betrachtung unterwerfen müssen, wir wollen hier nur noch die Art der Bewegung eines Seiles oder einer Saite während solcher stehenden Schwingungen näher betrachten.

Der einfachste Fall ist der, daß das Seil seiner ganzen Länge nach schwingt, wie es in Fig. 124 (auf folgender Seite) dargestellt ist. Man kann diese Bewegung dadurch hervorbringen, daß man die Mitte eines nicht gar fest gespannten Seiles von 10 bis 20 Fuß Länge etwas aus ihrer Gleichgewichtslage (am besten etwas nach der Rechten oder Linken)

entfernt und dann das Seil sich selbst überläßt. Alle Theilchen befinden sich gleichzeitig auf der einen und dann wieder auf der andern Seite der Gleichgewichtslage; sie erreichen gleichzeitig das Maximum ihrer Entfernung von der Gleichgewichtslage auf der rechten Seite und kommen gleichzeitig auf den Endpunkten ihrer Bahnen auf der andern Seite an. Die Theilchen also, deren Gleichgewichtslage f, d und g ist, kommen gleichzeitig in f', d' und g' an, sie passiren gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage, nach derselben Richtung sich bewegend, sie kommen gleichzeitig in f'', d'', g'' an.

Fig. 124.



Während also alle Theilchen sich gleichzeitig stets auch in gleichen Schwingungszuständen befinden, ist nur die Amplitude ihrer Oscillationen ungleich, sie ist für das Theilchen d größer als für f und g.

Die Schwingungen einer gespannten Saite, welche man aus ihrer Gleichgewichtslage bringt, oder die man in der Mitte ihrer Länge mit einem Fiedelbogen anstreicht, sind ganz von derselben Art. Die Schwingungen der Saite sind aber so schnell, daß man die einzelnen Oscillationen als solche nicht mehr unterscheiden kann, dahingegen bringen sie nun einen Ton hervor. In Beziehung auf diesen Ton werden wir später die Schwingungen der Saite noch einmal zu betrachten haben.

Die Schwingungen eines nicht gar stark gespannten Seiles sind langsam genug, um sie zählen zu können; es hält aber schwer, auf die angegebene Weise eine ganz regelmäßige Oscillationsbewegung hervorzubringen, wenn man die Mitte des Seiles in der Richtung von unten nach oben aus ihrer Gleichgewichtslage bringt, weil alsdann nicht allein die Elasticität des Seiles die Theilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückführt, sondern auch die Schwere; wenn man aber die Mitte des Seiles nach der Rechten oder Linken aus der Gleichgewichtslage bringt, so ist die Bewegung theilweise eine förmliche Pendelbewegung, weil, wenn das Seil nicht sehr stark gespannt ist, die Mitte immer etwas herabhängt, spannt man es aber stärker, so werden die Schwingungen zu schnell, um sie einzeln unterscheiden zu können.

Am besten lassen sich die stehenden Schwingungen an einem Seile zeigen, wenn man das eine Ende desselben befestigt, das andere aber in der Hand hält und mit demselben mit gleichförmiger Geschwindigkeit kleine Kreise beschreibt. Wenn man die richtige Geschwindigkeit für die Bewegung der Hand gefunden hat, was während des Versuchs ganz leicht ist, so wird das Seil in eine solche Bewegung gerathen, daß die Mitte desselben einen großen Kreis um ihre Gleichgewichtslage beschreibt. Alle anderen

Punkte des Seiles drehen sich dann gleichfalls in Kreisen um ihre Gleichgewichtslage, nur sind die Kreise um so kleiner, je näher die Punkte den Enden des Seiles liegen.

Wenn man nun die Bewegung der Hand beschleunigt, so wird die Regelmäßigkeit der Bewegung des Seiles gestört, es ist aber leicht, die Geschwindigkeit der Hand so zu beschleunigen, daß sich in der Mitte des Seiles ein Ruhepunkt bildet. Jede Hälfte des Seiles schwingt dann ganz in der Weise, wie in dem vorigen Falle, das ganze Seil; die Mitte einer jeden Hälfte beschreibt größere Kreise als alle übrigen Punkte; hier bildet sich also ein Bauch. In Figur 125 haben wir zwei Bäuche und einen Knoten; so nennt man nämlich den ruhenden Punkt k, welcher die beiden schwingenden Theile scheidet.

Fig. 125.

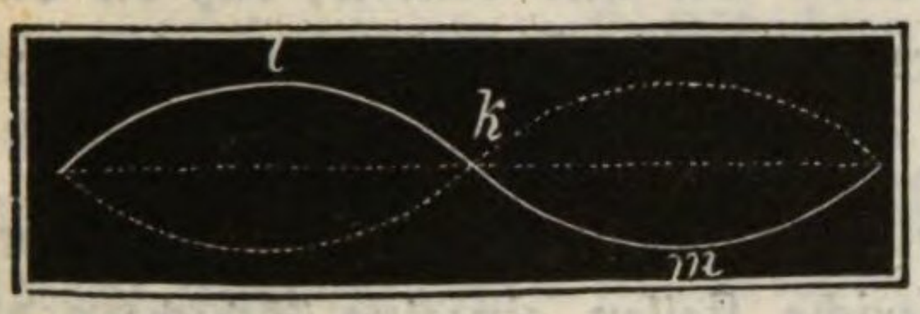


Fig. 126.

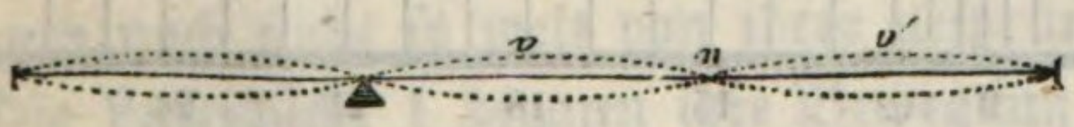
Wenn l seine höchste Stellung erreicht, so erreicht m gleichzeitig seine tiefste, und umgekehrt.

Bei noch größerer Geschwindigkeit der Hand gelangt man leicht dahin, im Seile zwei Knoten und drei Bäuche zu erzeugen, wie dies Fig. 126 dargestellt ist.

Ebenso ist es möglich, daß sich das Seil in noch mehr Abtheilungen theilt, die immer durch einen Knotenpunkt getrennt sind.

Auch an gespannten Saiten lassen sich die Knotenpunkte beobachten. Fig. 127 stelle eine gespannte Saite dar, an welcher durch einen Steg ein Stück abgeschnittten wird, dessen Länge $1/3$ von der Länge der ganzen Saite beträgt, so also, daß durch den Steg die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der eine halb so groß ist als der andere. Wenn man nun das kleinere Stück mit dem Fiedelbogen anstreicht, so geräth auch das andere Stück in Vibrationen, und zwar so, daß sich ein Knoten in n und zwei Bäuche in v und v' bilden. Der Knoten läßt sich dadurch nachweisen, daß man an verschiedenen Stellen der Saite leichte Papierreiterchen aufsetzt, welche überall sonst abgeworfen werden, während sie auf den Knotenpunkten sitzen bleiben.

Fig. 127.



Wenn man den Steg so setzt, daß durch ihn die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der kleinere $1/4$ von der ganzen Länge der Saite ist, so bilden sich, wenn man diesen kleineren Theil mit dem Fiedelbogen anstreicht, zwei Knoten und drei Bäuche u. s. w.

In Platten, Glocken u. s. w. lassen sich ebenfalls stehende Schwin-

gungen hervorbringen, denn die Vibrationen von Platten, bei denen die in Nro. 325 der ersten Auflage beschriebenen Klangfiguren beobachtet worden, sind nichts andres als stehende Wellen.

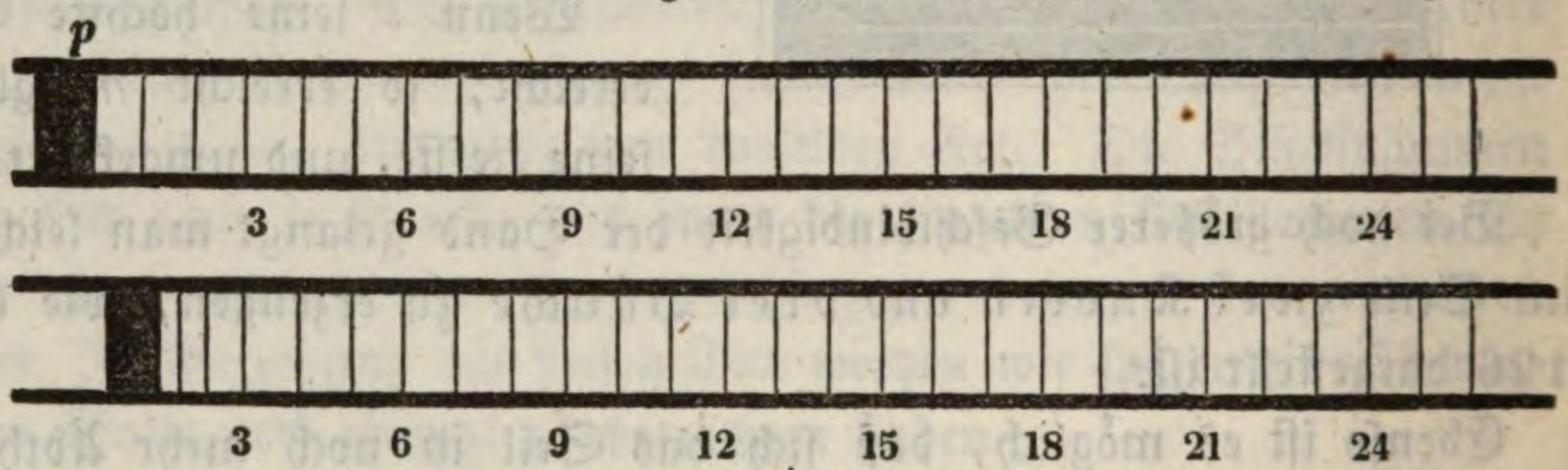
Schallwellen.

Um die Art und Weise, wie sich die Schallschwingungen in der Luft fortpflanzen, anschaulich zu machen, wollen wir uns denken, daß die Luft in einer an einem Ende offenen Röhre durch die Oscillationen eines am andern Ende angebrachten Kolbens in Schwingungen versetzt wird.

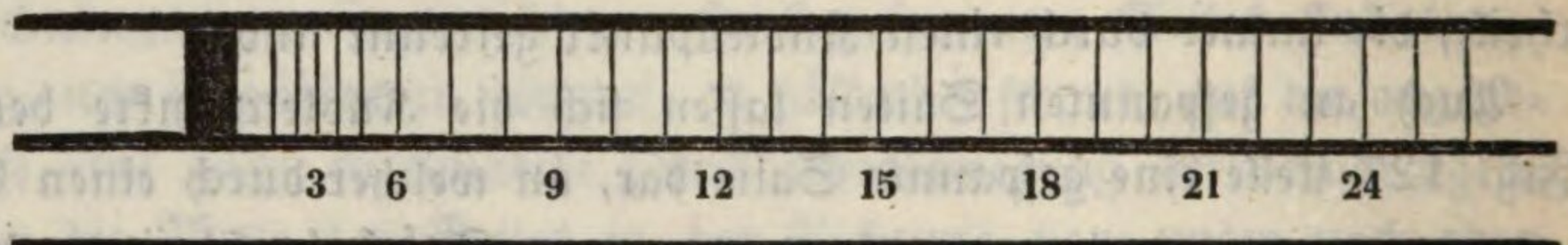
Fig. 129.

In Fig. 128 ist eine solche Röhre dargestellt, die gleich weit von einander stehenden Striche stellen einzelne Schichten der überall gleich dichten Luft dar; p ist der Kolben. Dieser Kolben soll um die Länge $a\,g$, Fig. 129, rasch hin und her gehen.

F. 128.



F. 130.



F. 131.

F. 132.

Eine solche oscillatorische Bewegung kann nicht gleichförmig seyn, wie dies schon früher bemerkt wurde. Denken wir uns die Zeit, welche der Kolben zu einem Hin- und Hergange, also von a nach g und von g zurück nach a, braucht, in 12 gleiche Theile getheilt, so legt er im ersten dieser Zeittheilchen den Weg $a\,b$, im zweiten den Weg $b\,c$, im dritten den Weg $c\,d$ u. s. w. zurück; die anfangs langsame Bewegung nimmt also an Geschwindigkeit zu, sie ist am Ende des dritten Zeittheilchens am größten, sie wird 0 am Ende des sechsten, in welchem Augenblicke der Kolben am rechten Endpunkte seiner Bahn anlangt und von wo die rückgängige Bewegung des Kolbens beginnt.

Die Punkte b, c, d u. s. w. erhält man, wenn man einen Kreis zieht, dessen Durchmesser $a\,g$ der Oscillationsamplitude gleich ist, wenn man den

Umfang dieses Kreises in 12 gleiche Theile theilt und von den Theilungspunkten Perpendikel auf $a\,g$ fällt.

Diese Bewegung des Kolbens pflanzt sich nun nach und nach auf alle die einzelnen Luftschichten der Röhre fort, jede derselben wird nach einiger Zeit dieselben Oscillationen machen wie der Kolben selbst, sie wird aber diese Bewegung um so später beginnen, je weiter sie von dem Kolben entfernt ist.

Wenn die Luft vollkommen unelastisch und starr wäre, so würde durch die Bewegung des Kolbens die ganze Luftsäule in der Röhre fortgeschoben werden, alle einzelnen Luftschichten würden gleichzeitig dieselbe Bewegung, und zwar die des Kolbens, haben; die Luft ist aber elastisch, die Bewegung pflanzt sich nur nach und nach fort, und zwar dadurch, daß die dem Kolben zunächst liegenden Schichten erst comprimirt werden und dann vermöge ihrer Elasticität erst auf die folgenden wirken.

Betrachten wir den Zustand der Luftsäule in dem Moment, in welchem der Kolben nach dem Beginne der Bewegung die Hälfte seines Weges nach der rechten Seite hin zurückgelegt, in welchem er also um die Länge $a\,d$ von seiner ursprünglichen Lage entfernt, also in der Stellung Fig. 130 angekommen ist, so sehen wir, daß sich die Bewegung erst bis zu einer mit 3 bezeichneten Luftschicht fortgepflanzt hat, d. h. die Luftschicht 3 befindet sich noch an ihrer ursprünglichen Stelle, die Luft zwischen dem Kolben und der Luftschicht 3 ist zusammengedrückt, und dadurch wird nun auch diese Luftschicht 3 fortgedrückt, welche eben ihre Bewegung beginnt.

Die Luftschichten 1 und 2 (die Zahlen sind zwar in der Figur nicht beigeschrieben, weil wohl kein Zweifel seyn kann, welche gemeint sind) haben ihre Bewegung auch später begonnen als der Kolben, sie sind also auch noch nicht so weit von ihrer ursprünglichen Lage entfernt wie dieser. Die Luftschicht 1 begann ihre Bewegung um $^1/_{12}$, die Luftschicht 2 um $^2/_{12}$ der Zeit, welche der Kolben zu einem Hin- und Hergange braucht, später als dieser, deshalb ist 1 um die Entfernung $a\,c$, 2 aber erst um die Entfernung $a\,b$ von ihrer ursprünglichen Lage verrückt.

Auf diese Weise ergiebt sich die gegenseitige Lage der Luftschichten zwischen 3 und dem Kolben, wie sie die Figur 130 zeigt.

Fig. 131 zeigt den Kolben in dem Moment, in welchem er das rechte Ende seiner Bahn erreicht hat, also um die Länge $a\,g$ von seiner ursprünglichen Lage entfernt ist. Die Bewegung hat sich unterdessen bis zur Luftschicht 6 fortgepflanzt, welche eben ihre Bewegung beginnt.

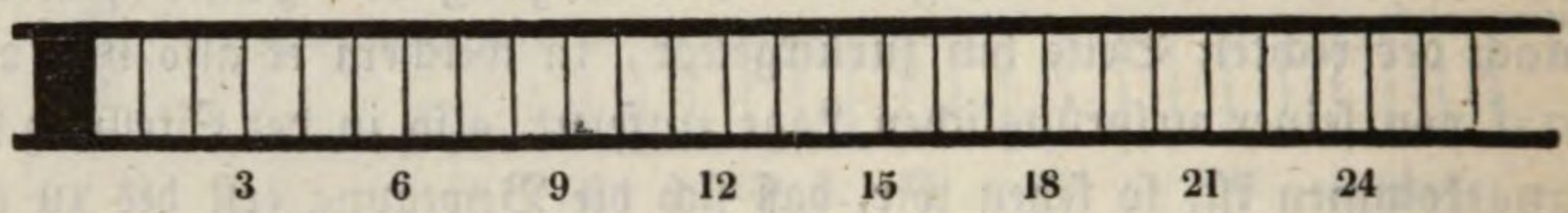
Der Kolben ist eben zur Ruhe gekommen, um seine rückgängige Bewegung anzufangen, 3 aber hat in seiner Bewegung von der Linken zur Rechten eben seine größte Geschwindigkeit.

Die Luftschicht 1 ist um die Länge af
" " 2 " " " " ae
" " 3 " " " " ad
" " 4 " " " " ac
" " 5 " " " " ab
" " 6 " " " " 0

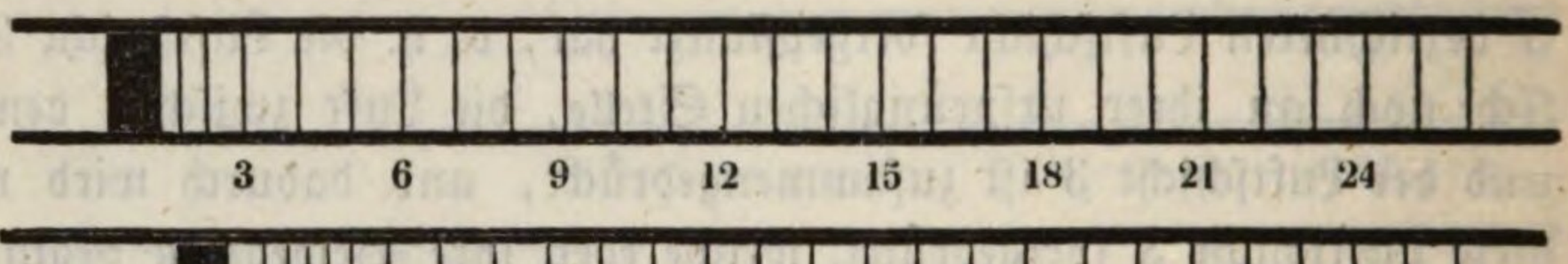
von ihrer ursprünglichen, in Fig. 128 dargestellten Lage entfernt, und daraus ergiebt sich die gegenseitige Lage der Schichten, wie sie in Fig. 131 und 135 verzeichnet ist. Bei 3 findet die stärkste Verdichtung der Luft Statt.

Während nun der Kolben von der Stellung Fig. 135 zu seiner ursprünglichen Lage zurückkehrt, pflanzt sich die Bewegung bis zur Luftschicht 12 fort; diese Luftschicht beginnt ihre Bewegung zum ersten Male in demselben Augenblicke, in welchem der Kolben zum zweiten Male nach der Rechten zu gehen beginnt. Diese Lage der einzelnen Luftschichten zwischen 12 und dem Kolben, wie sie in Fig. 136 dargestellt ist, ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

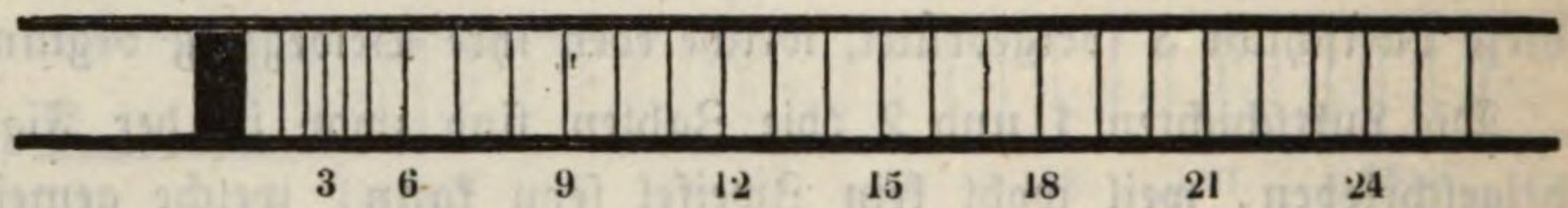
F. 133.



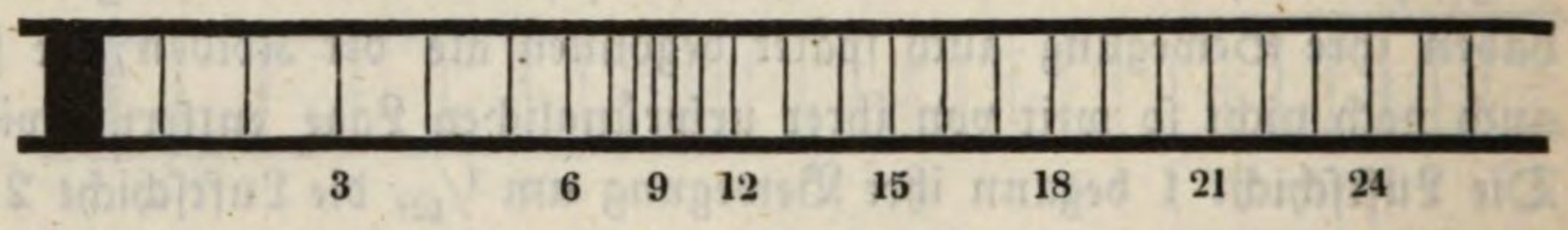
F. 134.



F. 135.



F. 136.



Während der Kolben und die Luftschicht 12 ihre ursprüngliche Lage einnehmen und momentan in Ruhe sind, sind alle zwischenliegenden Luftschichten von ihrer ursprünglichen Lage entfernt; alle Luftschichten zwischen dem Kolben und 6 haben eine rückgängige Bewegung von der Rechten zur Linken, diejenigen zwischen 6 und 12 gehen von der Linken zur Rechten.

Die Luftschicht 1 ist um die Länge ab
" " 2 " " " " ac
" " 3 " " " " ad
" " 4 " " " " ae
" " 5 " " " " af
" " 6 " " " " ag
" " 7 " " " " af

Die Luftschicht 8 ist um die Länge ae
" " 9 " " " " ad
" " 10 " " " " ac
" " 11 " " " " ab
" " 12 " " " " 0

von ihrer ursprünglichen Lage entfernt; daraus ergiebt sich, daß bei 9 die stärkste Verdichtung, bei 3 aber die stärkste Verdünnung der Luft stattfindet; die Luftschicht 3 hat eben ihre größte Geschwindigkeit nach der lin-

Fig. 137.

ken, die Luftschicht 9 hat ihre größte Geschwindigkeit nach der rechten Seite hin.

Wenn nun der Kolben in Ruhe bliebe, so würde zunächst die Luftschicht 1, dann 2, 3, 4 u. s. w. in ihrer ursprünglichen Lage wieder ankommen, um daselbst ebenfalls in Ruhe zu bleiben, während die Bewegung sich nach der rechten Seite fortpflanzt; in dem Moment z. B., in welchem 3 in seiner ursprünglichen Lage wieder ankommt, wird sich die Bewegung bis 15 fortgepflanzt haben, das Maximum der Verdichtung wird bei 12, das Maximum der Verdünnung wird bei 6 ankommen; in dem Augenblicke, in welchem 12 wieder in seiner ursprünglichen Lage ankommt, ist das Maximum der Verdünnung bis 15, das Maximum der Verdichtung bis 21 fortgeschritten, die Luftschicht 24 beginnt aber eben sich nach der Rechten zu bewegen u. s. w.

Vom Kolben bis 12 ist eine, von 12 bis 24 eine zweite Welle, denn die Länge einer Welle ist ja die Entfernung zweier Theilchen, welche sich stets in gleichen Schwingungszuständen befinden; der Kolben und die Luftschichten 12 und 24 beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der Rechten; sie durchlaufen ihren Weg nach der rechten Seite hin und wieder zurück stets in gleichen Zeiten und in gleicher Weise.

Jede Welle besteht aus einem verdünnten und einem verdichteten Theile; ersterer entspricht dem Wellenthale, letzterer dem Wellenberge der Wasserwellen.

Die Entfernung von einem Dichtigkeitsmaximum zum nächsten, also von 9 bis 21, sowie auch von einem Maximum der Verdünnung, also von 3 bis 15, ist ebenfalls eine Wellenlänge.

Fig. 137 bezieht sich auf den Moment, wo der Kolben zum dritten Male seine Oscillation vollendet, wo er also drei vollständige sich einander folgende fortschreitende Wellen erzeugt hat. In dieser Figur sind immer diejenigen Luftschichten, welche sich nach derselben Richtung bewegen, mit einer Klammer zusammengefaßt. Die Mitte

einer Klammer entſpricht immer einem Maximum der Verdichtung oder der Verdünnung; die hier befindlichen Luftſchichten haben eben ihre größte Geſchwindigkeit entweder nach der Rechten oder nach der Linken. Die Luftſchichten, welche da ſich befinden, wo zwei Klammern zuſammentreffen, befinden ſich momentan in Ruhe, indem ſie ſich gerade am rechten oder am linken Ende der Bahn befinden, welche ſie während ihrer Oscillationen hin und her durchlaufen.

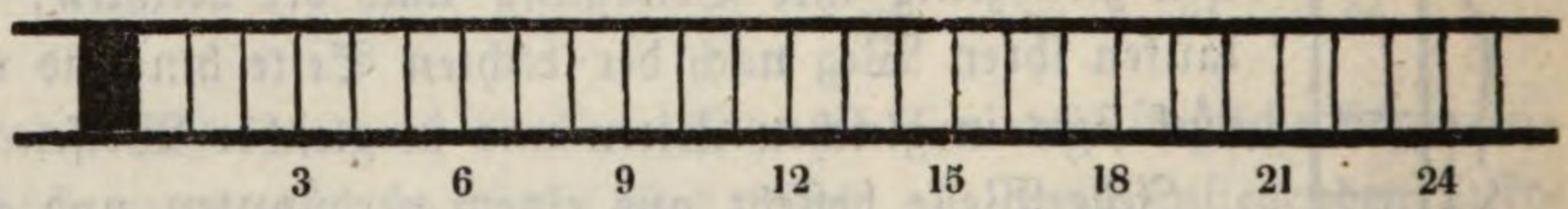
Um den Zuſammenhang zwiſchen der oscillirenden Bewegung der einzelnen Luftſchichten und der dadurch hervorgebrachten fortſchreitenden Bewegung der Wellen recht anſchaulich zu machen, kann man ſich der ſogenannten Wunderſcheibe (Phenakiſtoſkop) bedienen, welche ſpäter, wenn von der Dauer des Lichteindrucks die Rede ſeyn wird, beſchrieben werden ſoll.

Die Geſchwindigkeit, mit welcher ſich die Wellen in der Luft fortpflanzen, iſt unabhängig von der Oscillationsgeſchwindigkeit des Kolbens und der einzelnen Luftſchichten. Wenn z. B. der Kolben zu einer Oscillation, alſo zu einem Hin- und Hergange, eine doppelt ſo große Zeit brauchte, als in dem vorher betrachteten Falle, ſo würde doch die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellen unverändert dieſelbe bleiben.

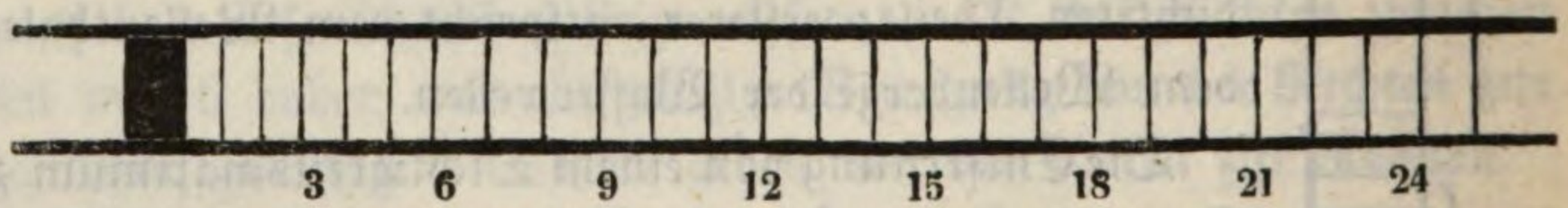
Wir wollen die Fortpflanzung der Wellen für die eben erwähnte geringe Oscillationsgeſchwindigkeit des Kolbens etwas näher betrachten.

In derſelben Zeit, während welcher in dem vorher betrachteten Falle der Kolben eine halbe Oscillation vollendet, alſo, von ſeiner urſprünglichen Lage ausgehend, ſeine Bahn von der Linken zur Rechten durchläuft und ſo aus der Stellung Fig. 133 in die Fig. 135 übergeht, wird der Kolben, im Falle er, um eine Oscillation zu vollenden, die doppelte Zeit braucht, nur die Hälfte dieſes Weges zurücklegen, alſo in der Stellung Fig. 139 ankommen. In gleichen Zeiten pflanzt ſich aber die Bewegung

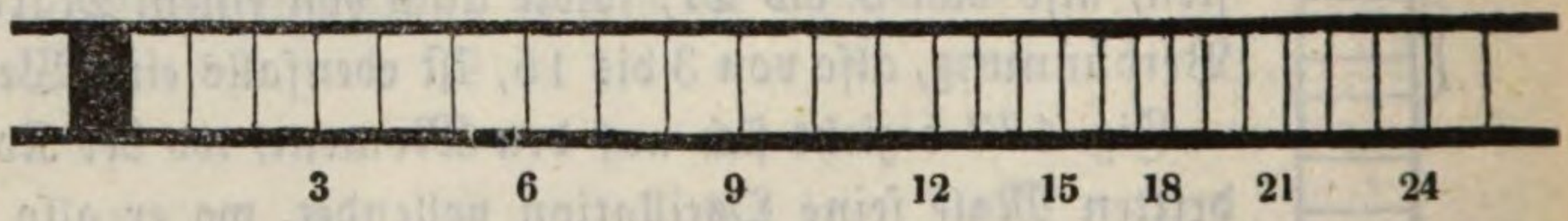
F. 138.



F. 139.



F. 140.

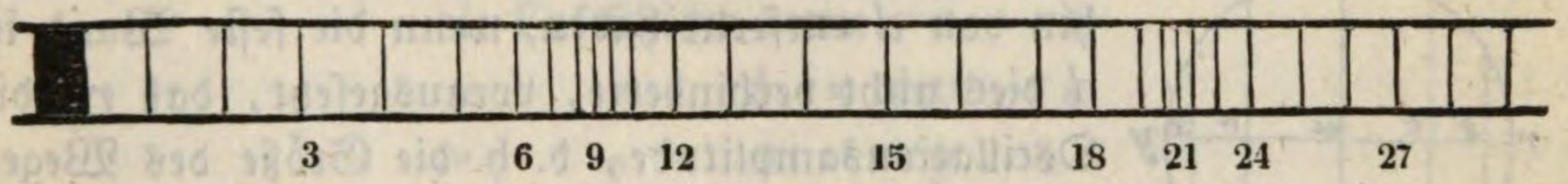


im gleichen Raume fort; in dem Moment, in welchem beim vorigen Fall der Kolben in der Stellung Fig. 135 angekommen war, hatte ſich die Bewegung bis 6 fortgepflanzt; ebenſo weit pflanzt ſie ſich nun jetzt in

derselben Zeit fort, während welcher der Kolben nur einen halb so großen Weg zurückgelegt hat.

Um mit der halb so großen Oscillationsgeschwindigkeit eine vollständige Oscillation zu vollenden, ist so viel Zeit nöthig, als der Kolben bei doppelter Oscillationsgeschwindigkeit braucht, um zwei Oscillationen zu vollenden. Nach zwei Oscillationen hatte sich aber bei dem vorher betrachteten Falle die Bewegung bis zur Luftschicht 24 fortgepflanzt, ebenso weit pflanzt sie sich in derselben Zeit fort, wenn während derselben der Kolben eine Oscillation vollendet; im letztern Falle liegt aber zwischen dem Kolben und der Luftschicht 24 nur eine Welle (Fig. 140), während im erstern Falle (Fig. 141) zwei Wellenlängen zwischen denselben Gränzen liegen.

Fig. 141.



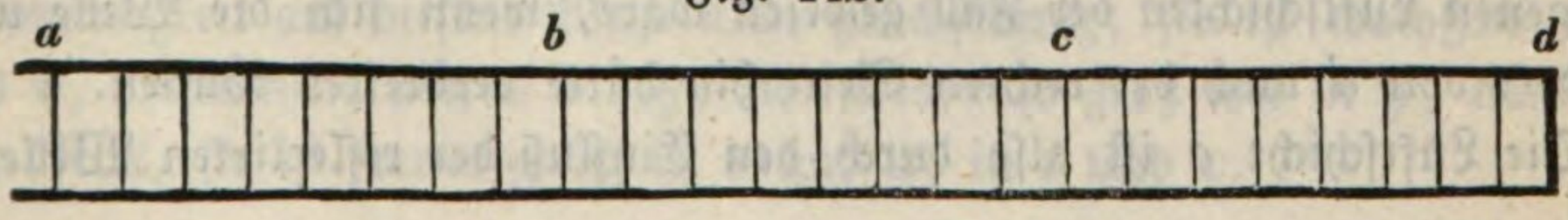
Da, wie die Erfahrung lehrt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Luftwellen unabhängig ist von der Zeit, während welcher jedes einzelne Theilchen eine Oscillation vollendet, da aber die Wellenlänge die Entfernung ist, um welche die Welle fortschreitet, während eine einzelne Luftschicht eine vollständige Oscillation vollendet, so ist klar, daß die Wellenlänge in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem die Oscillationsdauer der einzelnen Lufttheilchen wächst. Wenn der Kolben und mithin auch die folgenden Luftschichten zu einer Oscillation, also zu einem Hin- und Hergange, die doppelte, dreifache, vierfache u. s. w. Zeit brauchen, so wird auch die Wellenlänge zwei-, drei-, vier- u. s. w. mal so groß geworden seyn.

Wir haben hier der Einfachheit wegen die Fortpflanzung der Luftwellen in einer Röhre betrachtet, ganz in derselben Weise pflanzen sich aber auch die Wellen in freier Luft von den oscillirenden Körpern nach allen Seiten hin fort, sowie sich um die Stelle des Wassers, in welche der Stein hineingefallen ist, kreisförmige Wellen bilden, so bilden sich um den oscillirenden Körper kugelförmige Luftwellen.

Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen.

RS, Fig. 142, sey eine an einem Ende *S* geschlossene, am anderen Ende offene Röhre; wenn nun eine Schallwelle bei *R* in die Röhre eintritt und

Fig. 142.

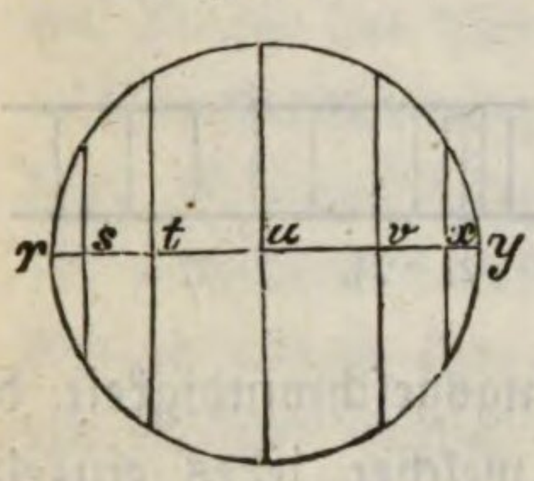


sich nach S fortpflanzt, so wird sie hier, am Boden der Röhre reflectirt, in umgekehrter Richtung zurückgehen; durch das Zusammenwirken (die Interferenz) der reflectirten Wellen mit den neu einfallenden können sich aber unter gewissen Umständen in der Röhre stehende Luftwellen bilden, wie wir wir dies sogleich näher zeigen wollen.

Nehmen wir an, die Länge der Röhre RS sey $1/4$ der Länge der einfallenden Welle, die Luftschichten bei a, b, c und d seyen also um $1/12$ Wellenlänge von einander entfernt.

Betrachten wir nun den Moment, in welchem der verdichtete Theil der einfallenden Welle gerade bei d anlangt, so würde sich gerade in diesem Augenblicke die dicht bei d sich befindende Luftschicht um die Entfernung ru, Fig. 143, nach der Rechten hin von d entfernt haben, wenn die feste Wand in d dies nicht verhinderte, vorausgesetzt, daß ry die Oscillationsamplitude, d. h. die Größe des Weges ist, um welchen die einzelnen Lufttheilchen während des Fortganges der einfallenden Welle hin- und herschwingen.

Fig. 143.



Die Luftschicht c würde unter dem alleinigen Einflusse der ungehindert fortgehenden Welle in diesem Augenblicke um die Länge rv, die Luftschicht b um die Länge rx, die Luftschicht a endlich um ry nach der rechten Seite hin von ihrer Gleichgewichtslage entfernt seyn.

Wenn aber das Maximum der Dichtigkeit der einfallenden Schallwelle eben bei d angekommen ist, so ist der vorangehende Theil dieser Welle schon bei d reflectirt worden, die reflectirte Welle ist von d nach a hin fortgeschritten.

Denken wir uns für einen Augenblick die Wand bei d weg, so würde die Welle in dem Moment, in welchem das Maximum der Dichtigkeit bei d eintrifft, schon um $1/4$ Wellenlänge weiter vorgeschritten seyn. Eine Luftschicht, die um $1/12$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde gerade um rt, eine solche, die $2/12$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde eben um rs von ihrer Gleichgewichtslage nach der rechten Seite hin entfernt seyn; die Luftschicht endlich, welche $1/4$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde, noch nicht aus ihrer Gleichgewichtslage verrückt, eben erst sich zu bewegen beginnen.

Nun aber ist die Röhre bei d verschlossen, die Welle ist reflectirt worden, und durch die reflectirte Welle werden nun die Theilchen gerade so in entgegengesetzter Richtung afficirt, wie es bei den gleichweit rechts von d gelegenen Luftschichten der Fall gewesen wäre, wenn sich die Welle ungehindert von d nach der rechten Seite hin hätte verbreiten können.

Die Luftschicht c ist also durch den Einfluß der reflectirten Welle um

rt, die Luftschicht b um die Länge rs nach der Linken verrückt, die Luftschicht a endlich ist durch die reflectirte Welle in diesem Augenblicke noch gar nicht afficirt.

Durch die einfallende Welle ist		durch die reflectirte Welle ist
also die Luftschicht		die Luftschicht
c um rv		c um rt
b » rx		b » rs
a » ry		a » 0
nach der Rechten		nach der Linken

von ihrer in Fig. 142 dargestellten Gleichgewichtslage entfernt.

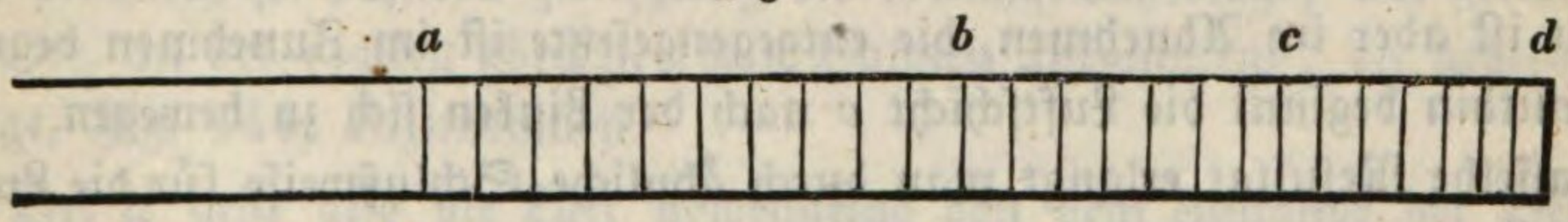
Durch den gemeinschaftlichen Einfluß des einfallenden und reflectirten Wellensystems ist also

die Luftschicht c um $rv—rt$
» » b » $rx—rs$
» » a » ry

nach der rechten Seite hin von ihrer Gleichgewichtslage entfernt. Auf diese Weise ergiebt sich für den fraglichen Augenblick die gegenseitige Lage der einzelnen Luftschichten, wie sie in Fig. 144 dargestellt ist, während Fig. 142 die Luftschichten in ihrer Gleichgewichtslage darstellt.

Um ein deutlicheres Bild zu geben, sind die Zwischenräume zwischen a und b, b und c, c und d noch in 8 Theile getheilt. Man übersieht nun in Fig. 144 ganz gut, wie in dem Moment, welchen wir bisher betrachtet

Fig. 144.



haben, die Luftschichten nach d hin immer dichter auf einander rücken. Die in Fig. 144 zunächst bei a liegenden Abtheilungen sind fast ganz ebenso groß wie die Abtheilungen in Fig. 142, mehr nach d hin werden sie aber immer schmäler, die Luft bei a hat also noch die Dichtigkeit der umgebenden Luft, hier hat weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung stattgefunden, nach d hin ist aber die Luft mehr und mehr comprimirt.

Wir haben eben die gegenseitige Lage der einzelnen Luftschichten betrachtet, jetzt wollen wir versuchen, ihren Bewegungszustand für denselben Moment zu ermitteln.

Wenn ry der Weg ist, in welchem eine Luftschicht in Folge einer fortschreitenden Wellenbewegung hin und her oscillirt, so ist bekanntlich die Geschwindigkeit auf diesem Wege nicht gleichförmig, sie ist wachsend von r bis u, abnehmend von u bis y, sie ist in r so groß wie in y, nämlich gleich Null, sie ist ferner gleich in s und x, in t und v.

Nun ist die Luftschicht *c* durch die einfallende Welle nach der Rechten hin um *rv*, durch die reflectirte Welle nach der Linken um *rt* verrückt, die Geschwindigkeit, mit welcher das eine Wellensystem das Theilchen *c* antreibt, ist derjenigen gleich und entgegengesetzt, mit welcher es durch das andere Wellensystem afficirt wird, die Luftschicht *c* ist also momentan in Ruhe.

Dasselbe Resultat ergiebt sich für *b* und für *a*, alle einzelnen Luftschichten zwischen *a* und *d* sind momentan in Ruhe, sie beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der linken Seite hin.

Wenn eben gesagt wurde, daß die Luftschichten *a*, *b* und die dazwischenliegenden, in der Stellung Fig. 144 angekommen, gleichzeitig ihre Bewegung nach der Linken hin beginnen, so ist diese Behauptung noch zu beweisen.

Das Theilchen *c* ist gerade eben durch das einfallende Wellensystem mit einer Geschwindigkeit nach der rechten Seite hin afficirt, welche der Entfernung *rv* von der Gleichgewichtslage entspricht, und diese Geschwindigkeit nimmt in dem nächstfolgenden Augenblicke ab.

Durch das reflectirte Wellensystem ist die Luftschicht *c* mit einer nach der Linken gerichteten Geschwindigkeit afficirt, wie sie einem Theilchen zukommt, welches sich um *rt* von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat; diese Geschwindigkeit ist im Zunehmen begriffen.

Die Luftschicht *c* ist also momentan mit gleicher Geschwindigkeit nach der Rechten und Linken getrieben, die nach der Rechten gerichtete Geschwindigkeit ist aber im Abnehmen, die entgegengesetzte ist im Zunehmen begriffen, mithin beginnt die Luftschicht *c* nach der Linken sich zu bewegen.

Dasselbe Resultat erlangt man durch ähnliche Schlußweise für die Luftschicht *b*.

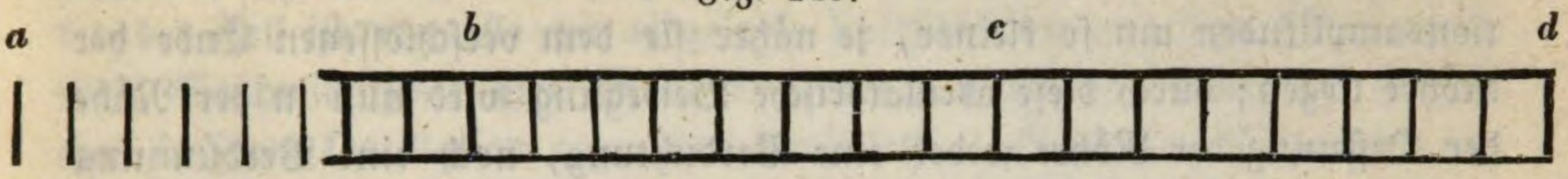
Die Luftschicht *a* wird mit vereinter Kraft durch beide Wellensysteme nach der Linken getrieben. Alle Luftschichten zwischen *a* und *d* beginnen also, wenn sie sich in der Lage Fig. 144 befinden, gleichzeitig ihre Bewegung nach der linken Seite hin; nach $\frac{1}{4}$ Undulation kommen sie in ihrer Gleichgewichtslage, Fig. 142, an, die sie mit dem Maximum ihrer Geschwindigkeit passiren, nach $\frac{1}{2}$ Undulation, also wenn das Maximum der Verdünnung bei *d* anprallt, gelangen die Theilchen endlich in die gegenseitige Lage, Fig. 145; in diesem Moment wird ihre Geschwindigkeit Null, sie beginnen sich nach der Rechten zu bewegen.

Daß in dem Moment, in welchem die Mitte der Verdünnungswelle an dem verschlossenen Ende der Röhre anprallt, die Theilchen die gegenseitige Lage Fig. 145 haben, ist nun noch zu beweisen.

Betrachten wir nun das einfallende Wellensystem, so wird, wenn die Mitte der Verdünnungswelle in *d* ankommt, das in Fig. 142 $\frac{1}{4}$ Wellen-

länge vor *d* liegende Theilchen *a* gerade eine Undulation vollendet haben, es befindet sich in seiner Gleichgewichtslage; ein 1/4 Wellenlänge rechts

Fig. 145.



von *d* liegendes Theilchen würde, wenn sich die Wellen ungehindert über *d* hinaus verbreiten könnten, in diesem Augenblicke um die Länge *ry* nach der Rechten gerückt seyn; ebenso weit ist aber nun die Luftschicht *a* durch die reflectirte Welle von der in Fig. 142 verzeichneten Gleichgewichtslage nach der Linken verschoben, und so ergiebt sich für das Theilchen *a* die in Fig. 145 verzeichnete Stellung.

Untersucht man weiter, wie weit in dem zuletzt besprochenen Moment die Schichten *b* und *c* durch jedes der beiden Wellensysteme verrückt sind, so ergiebt sich für dieselben die in Fig. 145 verzeichnete Stellung.

Hier sieht man nun, wie die einzelnen Luftschichten zunächst bei *a* nicht merklich weiter von einander entfernt sind als in Fig. 142; bei *a* hat also keine Verdünnung stattgefunden, von *a* nach *d* hin werden die Zwischenräume immer größer, das Maximum der Verdünnung findet sich bei *b*.

Von der Stellung Fig. 145 bewegen sich alle Theilchen gleichzeitig nach der Rechten, sie passiren gleichzeitig die Gleichgewichtslage, um gleichzeitig wieder, an der rechten Gränze ihrer Bahnen ankommend, die gegenseitige Lage, Fig. 144, anzunehmen.

Bei *d* geht also die Luft abwechselnd von dem Zustande der Verdünnung in den der Verdichtung über; *d* selbst hat eine unveränderliche Stellung, alle anderen Luftschichten oscilliren hin und her; für die zunächst bei *d* liegenden Luftschichten ist die Amplitude der Oscillation nicht groß, sie bewegen sich nur wenig rechts und links. Die Größe der Excursionen der einzelnen Theilchen wächst aber mit der Entfernung von *d*. Betrachten wir die Lage des zunächst bei *d* liegenden Striches in Fig. 144 und Fig. 145, so finden wir, daß er in letzterer Figur nicht viel mehr links liegt als in ersterer; die erste Figur stellt ihn aber in einem Momente dar, wo er am rechten, die andere, wo er am linken Ende seiner Bahn angekommen ist; die Größe dieser Bahn ist also unbedeutend.

Betrachten wir den Strich *c* in dieser Figur, so sehen wir, daß er in Fig. 145 schon bedeutend mehr links liegt als in Fig. 144. Das Theilchen *c* oscillirt also schon zwischen weiter aus einander liegenden Gränzen; für *b* ist die Oscillationsamplitude größer als für *c*, noch größer ist sie für *a*.

So sehen wir denn, daß die Luftschicht *a* zwischen ziemlich weit auseinander liegenden Gränzen hin und her oscillirt, dieselbe Bewegung haben nun gleichzeitig alle Luftschichten in der Röhre, nur werden ihre Oscillationsamplituden um so kleiner, je näher sie dem verschlossenen Ende der Röhre liegen; durch diese oscillatorische Bewegung wird nun in der Nähe der Oeffnung der Röhre weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung hervorgebracht, obgleich hier die Oscillationsamplitude der einzelnen Luftschichten groß ist, dahingegen findet am verschlossenen Ende der Röhre, wo die Oscillationsamplituden der einzelnen Luftschichten nur unbedeutend sind, eine abwechselnde Verdünnung und Verdichtung Statt.

Unsere Zeichnung ist, um den Hergang sichtbar zu machen, was die Oscillationsamplitude angeht, ungeheuer übertrieben, d. h. bei einer Pfeife von der Länge, wie sie in unserer Zeichnung dargestellt ist, würde in dem besprochenen Falle die Luftschicht, welche in ihrer Gleichgewichtslage an der Oeffnung der Röhre liegt, lange nicht so weit in die Röhre ein- und austreten, sie würde während ihrer Oscillationen nur wenig nach der linken und rechten Seite schwanken. Wäre aber die Oscillationsamplitude nicht so groß genommen worden, so würden in der Zeichnung schwerlich die Unterschiede der Verdichtung und Verdünnung recht deutlich geworden seyn.

Es hat sich also hier durch die Interferenz der direkten und reflectirten Wellen eine stehende Luftwelle gebildet, denn alle einzelnen Luftschichten in der Röhre beginnen gleichzeitig ihre Bewegung, sie erlangen gleichzeitig das Maximum ihrer Geschwindigkeit, sie langen gleichzeitig an den Gränzpunkten ihrer Bahnen an, um dann die Bewegung in entgegengesetzter Richtung zu beginnen.

Die Fig 146, 147, 148 sollen dazu dienen, die durch eine solche stehende Luftwelle abwechselnd hervorgebrachten Verdünnungen und Ver-

Fig. 146.

Fig. 147.

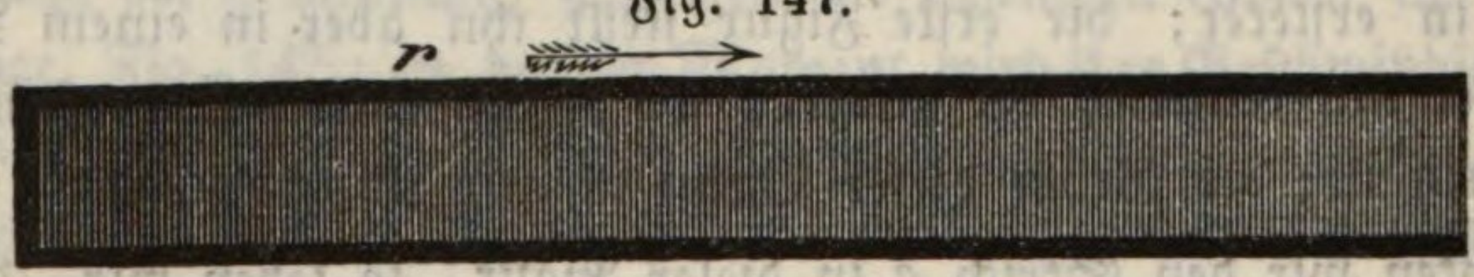


Fig. 148.

dichtungen anschaulich zu machen. In Fig. 146 ist die ganze Röhre gleichförmig schattirt, und dies entspricht dem Falle, daß die Luft in der ganzen Röhre eine gleichförmige Dichtigkeit hat, wie dies in den Momenten der Fall ist, wo alle die einzelnen Luftschichten mit dem Maximum ihrer Geschwindigkeit ihre Gleichgewichtslage passiren. Sind die Theilchen in ihrer Oscillation gegen das verschlossene Ende der Röhre hin an den äußersten Punkten ihrer Bahn angekommen, so findet hier eine Verdichtung Statt, Fig. 147. Nun beginnen sich die einzelnen Luftschichten von dem verschlossenen Ende zu entfernen, und nach $\frac{1}{2}$ Undulation haben wir hier eine Verdünnung, Fig. 148. Am offenen Ende der Röhre findet in keinem Zeitmomente eine merkliche Verdichtung oder Verdünnung Statt; hier aber bewegen sich die Luftschichten zwischen den weitesten Gränzen hin und her.

Die Pfeile in Fig. 147 und Fig. 148 deuten an, in welcher Richtung die Theilchen sich zu bewegen beginnen, wenn am Boden eben das Maximum der Verdichtung oder der Verdünnung stattfindet.

Würde nun in die Röhre, etwa bei r, ein Loch gemacht, so würde dadurch die Bildung der stehenden Welle gestört, wenn nicht ganz verhindert werden, weil im Momente der Verdichtung, Fig. 147 hier Luft entweichen, im Moment der Verdünnung aber Luft einströmen würde. Der störende Einfluß einer solchen Oeffnung würde aber an solchen Stellen, welche dem offenen Ende näher liegen, geringer seyn, weil hier die Verdünnung sowohl als die Verdichtung geringer ist.

Denselben störenden Einfluß, den eine Oeffnung hervorbringt, würde auch ein Abschneiden der Röhre an diesen Stellen zur Folge haben.

Die Bildung einer stehenden Luftwelle in der Röhre ist also an bestimmte Verhältnisse zwischen der Länge der Röhre und der Wellenlänge des einfallenden Tones gebunden, in dem bisher betrachteten Falle war die Länge der Röhre $\frac{1}{4}$ von der Wellenlänge des einfallenden Tones; es können sich aber auch noch bei anderen Verhältnissen zwischen Röhren- und Wellenlänge stehende Luftwellen in der Röhre bilden.

Zur Bildung der stehenden Welle in der Röhre ist erforderlich, daß dicht bei dem Boden die Oscillationsamplituden verschwindend klein werden, daß aber hier abwechselnde Verdünnungen und Verdichtungen stattfinden, während am offenen Ende der Röhre keine merkliche Verdichtung und Verdünnung stattfindet; an der Oeffnung der Röhre muß also stets der verdichtete Theil der reflectirten Welle mit dem verdünnten Theile der einfallenden Welle zusammenfallen, und umgekehrt.

Dieser Bedingung wird dadurch allerdings entsprochen, daß die Oeffnung der Röhre um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von dem Boden entfernt ist, aber auch da-

durch, daß die Entfernung der Oeffnung von dem Boden $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ u. s. w. Wellenlängen beträgt.

Fig. 149.

In Fig. 149 stelle die Linie ab die Länge der Röhre dar, welche $^3/_4$ Wellenlängen betragen soll; es sey ferner $bc = cd = da = {}^1/_3 ba = {}^1/_4$ Wellenlänge, so wird, wenn das Wellensystem von a nach b hin fortschreitet, in c der verdünnte Theil einer Welle seyn, wenn in a die größte Verdichtung stattfindet, weil c und a um $^1/_2$ Wellenlänge von einander entfernt sind. Verbreitete sich das Wellensystem über b hinaus, so würde in demselben Augenblicke in c' wieder eine Verdichtung, in a' Verdünnung stattfinden, also in a und c' gleiche, in c und a' die entgegengesetzten Zustände; nun aber wird die Welle in b reflectirt, es fällt also gleichsam c' mit c, a' mit a zusammen, es wird sich also in c sowohl als in a Verdünnung und Verdichtung aufheben, hier findet bloß ein Hin- und Hergehen der Luftschichten ohne merkliche Veränderung in der Dichtigkeit Statt.

Untersuchen wir aber, was bei d vorgeht.

Wenn das Maximum der Dichtigkeit von a nach d fortgeschritten ist, so würde es auch, wenn bei b keine Reflexion stattfände, von c' nach d' fortgeschritten seyn, in d und d' sind also immer gleiche Schwingungszustände; durch die Reflexion bei b fällt aber gleichsam d' auf d, es fällt also hier das Maximum der Dichtigkeit der einfallenden und reflectirten Welle und $^1/_2$ Undulation später das Maximum der Verdünnung beider zusammen, hier wird also abwechselnd eine verstärkte Verdichtung und eine verstärkte Verdünnung stattfinden.

Untersuchen wir nun den Schwingungszustand einer in d befindlichen Luftschicht, so finden wir, daß dieselbe gar keine Bewegung hat, sondern daß sie ganz fest steht, denn wenn die Wellen sich über b hinaus verbreiteten, so würden d und d' sich stets in ganz gleichen Oscillationszuständen befinden, sie würden stets mit gleicher Geschwindigkeit sich nach derselben Seite bewegen; wenn aber das Wellensystem reflectirt wird, so wird die reflectirte Welle der Luftschicht d gerade die entgegengesetzte Bewegung von der mittheilen, welche sie ohne Reflexion der Luftschicht d' mitgetheilt hätte, d ist also durch die beiden Wellensysteme stets mit gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Geschwindigkeiten afficirt; diese Luftschicht muß also in Ruhe bleiben.

Die Figuren 150 bis 152 ollen die stehenden Luftwellen anschaulich

machen, welche sich in einer Röhre bilden, deren Länge $^3/_4$ von der Länge der einfallenden Schallwellen beträgt.

Fig. 150.

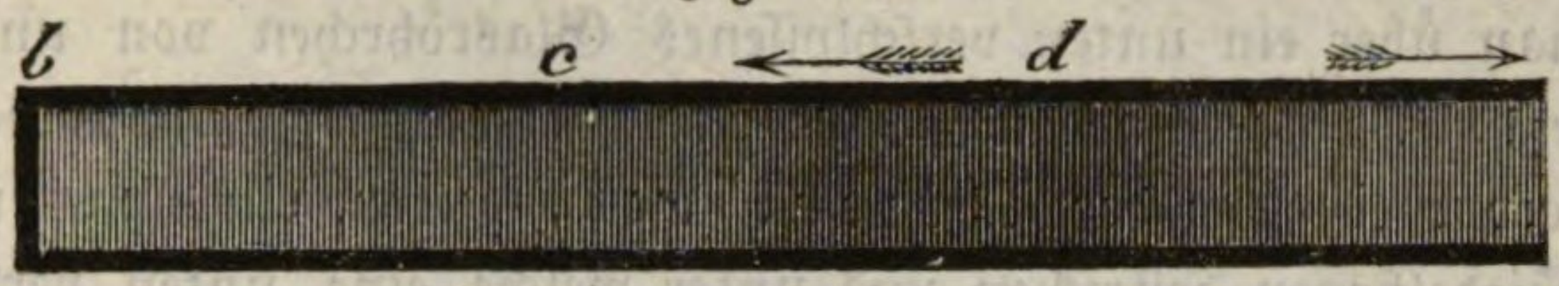


Fig. 151.

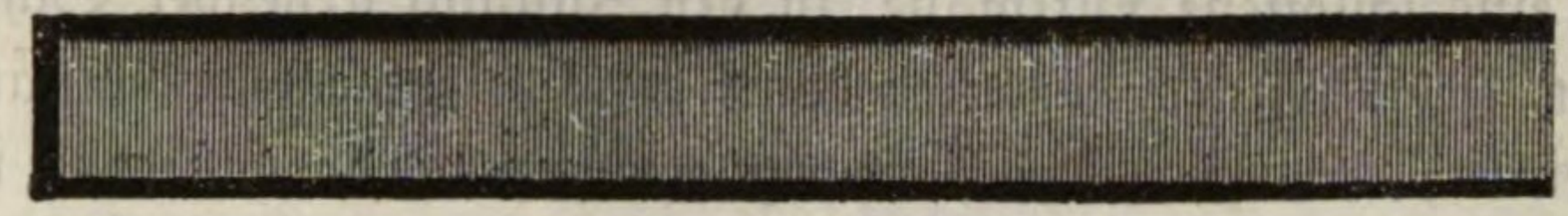
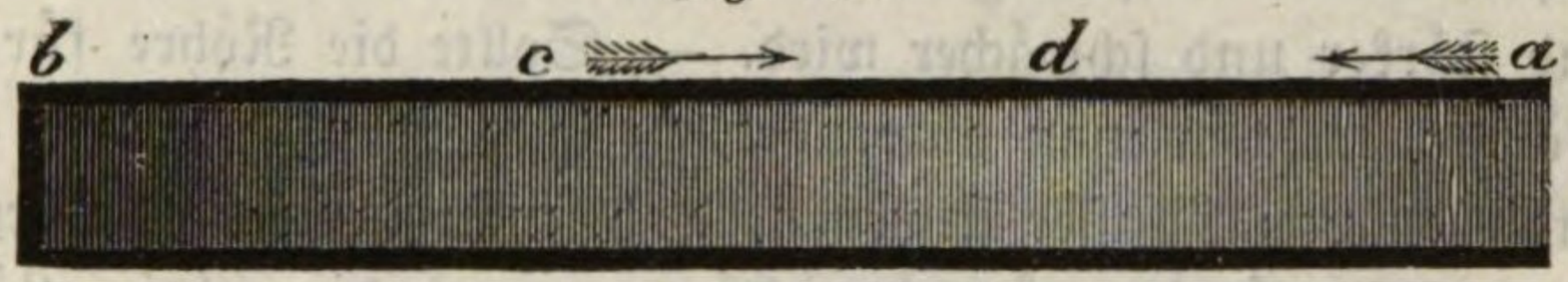


Fig. 152.



In Fig. 150 sehen wir ein Maximum der Verdichtung in d, ein Maximum der Verdünnung am Boden der Röhre bei b; alle links von d liegenden Luftschichten beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, während die rechts von d gelegenen Luftschichten nach der Rechten hin sich zu bewegen beginnen.

Nach $^1/_4$ Undulation haben die einzelnen Schichten eine solche Stellung erreicht, daß in der ganzen Röhre die Luft eine gleichförmige Dichtigkeit hat, was durch Fig. 151 dargestellt seyn soll, in der angegebenen Richtung sich fortbewegend wird jedoch abermals nach $^1/_4$ Undulation der in Fig. 152 dargestellte Zustand eintreten; jetzt ist bei b die größte Verdichtung, bei d die größte Verdünnung.

Von diesem Momente an beginnen die einzelnen Luftschichten wieder sich gegen d hin zu bewegen, und so tritt dann nach $^1/_2$ Undulation wieder der Zustand Fig. 150 ein.

Die Luftschichten, welche rechts und links von d liegen, bewegen sich entweder gleichzeitig von d weg, oder gleichzeitig nach d hin, während d keine Bewegung hat, die Luftschicht d bildet also einen Schwingungsknoten.

Die Stellen bei c und a, wo weder Verdünnung noch Verdichtung stattfindet, während hier die Luftschichten gerade mit der größten Amplitude schwingen, heißen Bäuche.

Um nun wirklich die Luft in einer geschlossenen Röhre in solche stehende Schwingungen zu versetzen, braucht man nur irgend einen oscillirenden Körper vor das offene Ende der Röhre zu bringen, welcher einen

solchen Ton giebt, daß die Länge der Röhre $^1/_4$, $^3/_4$, $^5/_4$ u. s. w. von der Wellenlänge dieses Tones ist.

Man kann zu diesem Zwecke eine gewöhnliche Stimmgabel anwenden, die man über ein unten verschlossenes Glasröhrchen von ungefähr 2 Zoll Länge hält, oder eine Glas- oder Metallplatte, die ganz in der Weise, wie zur Hervorbringung der Chladni'schen Figuren, eingespannt ist und mit dem Fiedelbogen gestrichen und unter welche eine unten verschlossene Röhre gehalten wird. Wenn die Röhre die richtige Länge hat, so wird die in ihr eingeschlossene Luftmasse, in den Zustand stehender Schwingungen versetzt, selbst tönend, wodurch dann der Ton ungemein verstärkt wird, was namentlich dadurch deutlich wahrgenommen wird, daß man mit dem tönenden Körper über die Oeffnung der Röhre hin- und herfährt, so daß er bald sich über der Oeffnung befindet, bald nicht, wobei dann der Ton abwechselnd stärker und schwächer wird. — Sollte die Röhre für den tönenden Körper, welchen man anwendet, zu lang seyn, so kann man sie durch Eingießen von Wasser stimmen, d. h. man kann sie dadurch so weit verkürzen, daß sie für den tönenden Körper genau die richtige Länge hat.

Sehr schön läßt sich diese Erscheinung an dem Apparat Fig. 638 auf Seite 70 des 2. Bandes der 1. Auflage zeigen.

Um die Luft in einer Röhre in stehende Schwingungen zu versetzen, um sie also zum Selbsttönen zu bringen, ist nicht gerade nöthig, einen tönenden Körper vor die Oeffnung zu bringen, wie dies ja die Orgelpfeifen zeigen. Hier ist es ein am offenen Ende der Röhre vorbeiströmender, an ihren Rändern sich brechender Luftstrom, welcher durch seine Stöße Wellen erzeugt, die, an den Boden reflectirt, mit den neu einfallenden interferiren. Wenn auch diese Stöße anfangs nicht ganz regelmäßig sind, so werden sie doch alsbald, wenigstens wenn die Röhre, wie man sagt, gut anspricht, durch den Einfluß der reflectirten Wellen regulirt, so daß sich regelmäßige stehende Schwingungen bilden, durch welche die Luft in der Röhre selbsttönend wird.

Die Töne, welche eine Röhre auf diese Weise geben kann, sind dieselben wie diejenigen, welche ein anderer tönender Körper geben muß, wenn er, vor die Oeffnung der Röhre gebracht, die Luft in derselben zum Selbsttönen bringen soll.

Bisher war nur von gedeckten Pfeifen die Rede, aber auch solche, welche an beiden Seiten offen sind, lassen sich durch dieselben Mittel zum Tönen bringen, welche diese Wirkung bei gedeckten Pfeifen hervorbringen.

In der Mitte einer Röhre kann eine stärkere Verdichtung der Luft stattfinden als am Ende derselben, weil hier die Luft nicht nach der Seite hin ausweichen kann. Wenn nun der verdichtete Theil einer Welle am offenen Ende der Röhre ankommt, so werden beim Austritte aus der

Röhre die Lufttheilchen leicht nach allen Seiten hin ausweichen und dadurch eine Verdünnung entstehen, welche nun, gleichsam von dem offenen Ende der Röhre reflectirt, dieselbe in entgegengesetzter Richtung durchläuft, und so bilden sich denn hier die stehenden Wellen.

Die rückkehrende Welle ist natürlich nicht so intensiv, wie die ursprüngliche.

Da an dem offenen Ende der Röhre nun stets eine Verdichtung mit einer Verdünnung zusammenfällt, so muß hier nothwendig ein Bauch entstehen, Schwingungsknoten können sich nur im Innern der Röhre bilden.

Wenn dem Ton des Körpers, durch welchen man die Luft in der Röhre zum Selbsttönen bringen will, eine Wellenlänge l zukommt, so ist die Länge der kürzesten Röhre, welche durch diesen Ton angesprochen wird, $\frac{l}{2}$, d. h. die Röhre ist halb so lang als die Wellenlänge ihres Tones. Wenn also die tiefsten Töne einer offenen und einer gedeckten Pfeife gleich seyn sollen, so muß die offene Pfeife doppelt so lang seyn.

Für den tiefsten Ton einer offenen Röhre befindet sich ein Schwingungsknoten in der Mitte ihrer Länge, ein Bauch aber an jedem Ende, wie dies Fig. 153 und Fig. 154 anschaulich gemacht ist. Fig. 153 stellt

Fig. 153.

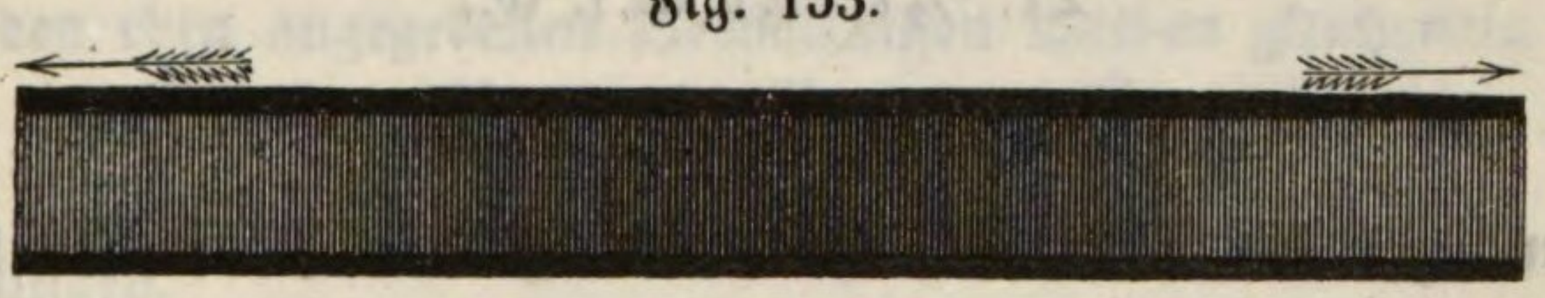
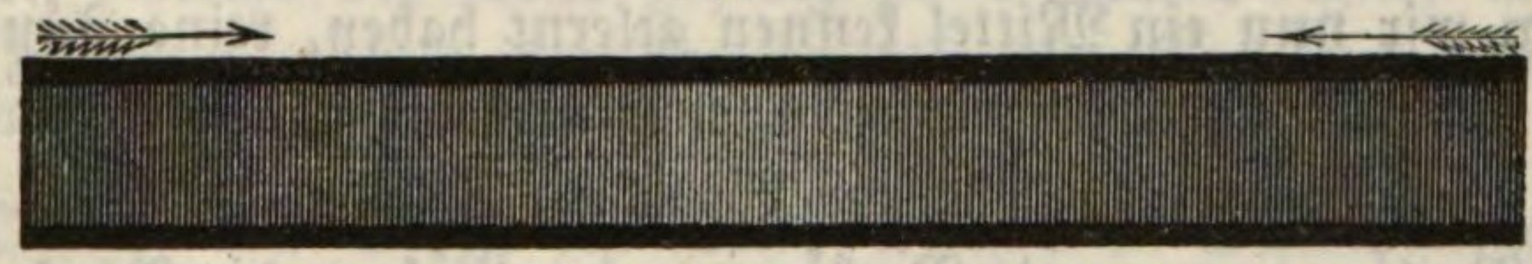


Fig 154.



den Moment dar, wo in der Mitte der Röhre die größte Verdichtung stattfindet; während die Luftschicht in der Mitte der Röhre in Ruhe bleibt, beginnt die Luft auf beiden Seiten sich von der Mitte zu entfernen, wie dies durch die Pfeile angedeutet ist; nach einer halben Undulation findet in der Mitte der Röhre das Maximum der Verdünnung Statt, und nun beginnen die einzelnen Luftschichten von beiden Seiten her sich gegen die Mitte hin zu bewegen.

Der nächst höhere Ton der Röhre ist derjenige, für welchen sich ein Bauch in der Mitte der Röhre, Knoten aber in den Punkten a und b bilden, welche um $\frac{1}{4}$ der Röhrenlänge von den Enden abstehen. Wenn in a ein Maximum der Verdichtung stattfindet, wie Fig. 155, so findet in b Verdünnung Statt, und umgekehrt, Fig. 156.

Für den eben besprochenen Fall ist die Wellenlänge des Tons der

Fig. 155.

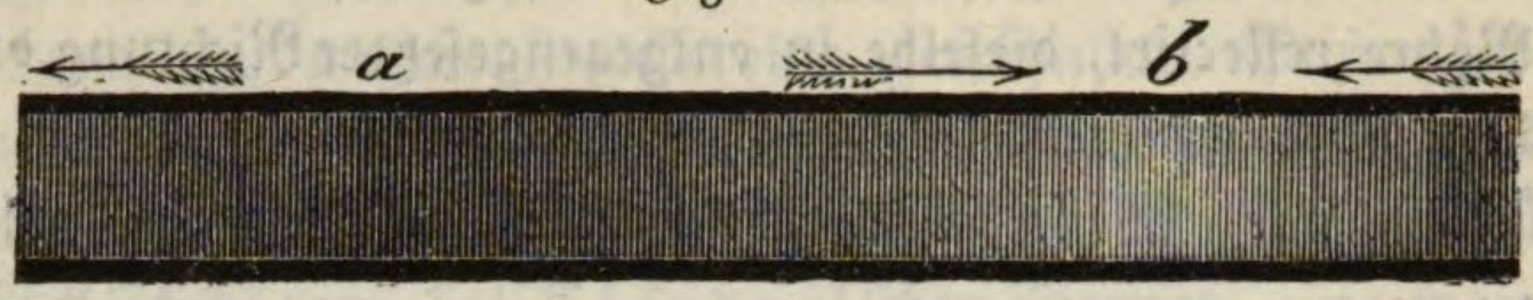
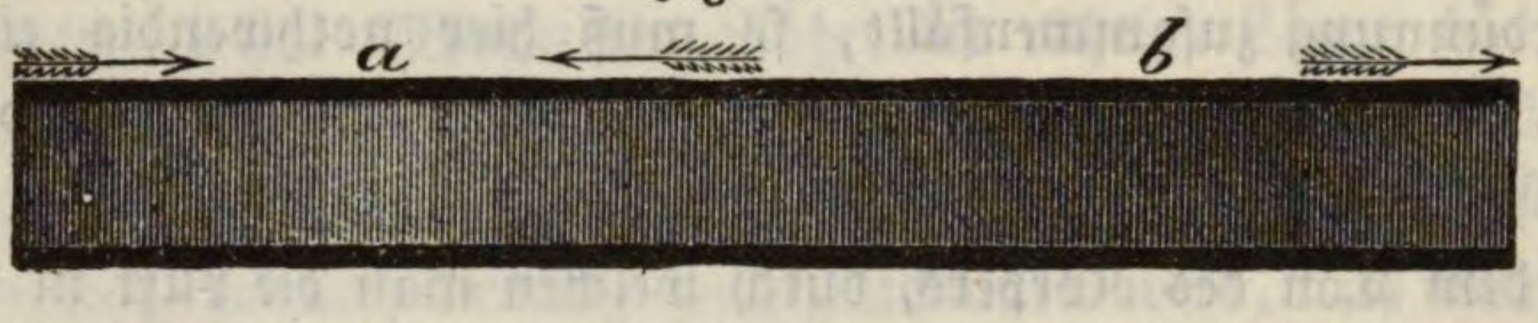


Fig. 156.



Länge der Röhre gleich; die Oscillationsdauer dieses Tons ist halb so groß als die des Grundtons der Röhre.

Der auf diesen folgende höhere Ton der Röhre, ist derjenige, dessen Wellenlänge $1^1/_2$mal in der Röhrenlänge enthalten ist, für diesen Ton bilden sich drei Schwingungsknoten, von denen einer in der Mitte liegt, während jeder der anderen um $^1/_6$ der Röhrenlänge oder $^1/_4$ der Wellenlänge der sich bildenden Schallwelle von einem Ende absteht.

Bezeichnen wir die Länge einer offenen Röhre mit l, so sind die Wellenlängen der Töne, welche sie geben kann,

$$2l,\ ^2/_2\,l,\ ^2/_3\,l \text{ u. s. w.,}$$

während

$$4l,\ ^4/_3\,l,\ ^4/_5\,l \text{ u. s. w.}$$

die Wellenlängen der Töne sind, welche eine gedeckte Pfeife von der Länge l geben kann.

Nachdem wir nun ein Mittel kennen gelernt haben, reine Töne hervorzubringen, nämlich durch Orgelpfeifen, nachdem wir gesehen haben, wie die Höhe und Tiefe dieser Töne von der Länge der Pfeifen abhängt, daß man also durch Verlängerung und Verkürzung der Röhren die Pfeifen beliebig stimmen kann, wollen wir nun die Tonreihe näher betrachten, welche in der Musik zur Anwendung kommt.

Gehen wir von dem Tone aus, den eine 4 Fuß lange gedeckte Pfeife als Grundton giebt; es ist dies ein Ton, welcher in der Musik mit C bezeichnet wird.

Fragen wir nach denjenigen Tönen, die mit C zusammen einen angenehmen Eindruck auf das Ohr hervorbringen, so finden wir, daß es solche sind, deren Oscillationsgeschwindigkeit in einem einfachen Verhältnisse zu der von C steht; es sind dies diejenigen Töne, deren Wellenlänge $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$, $^5/_6$ von der des Tones C beträgt, die also durch solche Pfeifen hervorgebracht werden, deren Länge $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$, $^5/_6$ von der der Pfeife C sind.

Da sich die Oscillationsdauer umgekehrt wie die Wellenlänge verhält, so macht also der erste der erwähnten Töne 2 Schwingungen, während *C* eine macht; dieser Ton heißt die Octave von *C* und er wird mit *c* bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^2/_3$ von der des Tones *C* beträgt, macht 3 Oscillationen, während *C* deren 2 macht; dieser Ton ist die Quinte von *C*, er wird mit *G* bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^3/_4$ von der des Tones *C* ist, macht 4 Schwingungen, während *C* deren 3 macht, er wird die Quarte von *C* genannt und mit *F* bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^4/_5$ von der des Tones *C* ist, macht 5 Schwingungen, während *C* deren 4 macht, es ist die große Terz von *C* und wird mit *E* bezeichnet.

Der zuletzt erwähnte Ton, dessen Wellenlänge $^5/_6$mal so groß ist als die von *C*, macht 6 Schwingungen, während *C* deren 5 vollendet; es ist dies die kleinere Terz von *C*, sie wird mit *Es* bezeichnet.

Ebenso wie *C* seine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz hat, so giebt es auch eine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz von *c*.

Der Grundton *C* mit seiner großen Terz *E* und seiner Quint *G* bilden den *C*dur-Accord.

Nach den eben angegebenen Verhältnissen machen gleichzeitig

C	*E*	*F*	*G*	*c*
24	30	32	36	48

Schwingungen.

Um die Reihe der Töne gehörig zu vervollständigen, müssen nun aber *E*, *F* und *G* ebenso ihre Accorde, also ihre Terz und Quint haben wie *C*.

Die Quint von *G* ist ein Ton, welcher 3 Schwingungen macht, während *G* deren 2 vollendet; auf 36 Schwingungen von *G* gehen also 54 Schwingungen seiner Quint, die wir mit *d* bezeichnen wollen; die nächst tiefere Octav von *d* wird mit *D* bezeichnet, sie macht 27 Schwingungen, während *G* 36 und *C* 24 macht.

Die große Terz von *G*, die man mit *H* bezeichnet, muß 5 Schwingungen machen, während *g* deren 4 vollendet, auf 36 Oscillationen von *g* gehen also 45 Oscillationen von *H*.

Da sich 24 zu 36 (*C* zu *G*) verhält wie 32 zu 48 (*F* zu *c*), so ist *c* die Quint von *F*.

Die große Terz von *F* muß 5 Schwingungen machen, während *F* selbst deren 4 vollendet, auf 32 Oscillationen von *F* gehen also 40 Oscillationen seiner großen Terz, die mit *A* bezeichnet wird.

So haben wir denn eine Reihe von Tönen, welche den Namen der *C*dur-Tonleiter führt. Es machen gleichzeitig

C	*D*	*E*	*F*	*G*	*A*	*H*	*c*	*d*	*e*	u. s. w.
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	

Schwingungen.

Die Differenzen zwischen je zwei auf einander folgenden Tönen dieser Reihe sind nicht gleich. In der folgenden Reihe giebt der zwischen zwei Zahlen etwas tiefer gesetzte Bruch an, um den wievielsten Theil die Oscillationsgeschwindigkeit eines Tones größer ist als die des nächst niedrigeren:

C	*D*	*E*	*F*	*G*	*A*	*H*	*c*;
$1/8$	$1/9$	$1/15$	$1/8$	$1/9$	$1/8$	$1/15$	

in gleichen Zeiten macht also *D* $1\frac{1}{8}$mal so viel Schwingungen als *C*, *E* $1\frac{1}{9}$mal so viel als *D*, *F* $1\frac{1}{15}$mal so viel als *E* u. s. w.

Das Intervall von *C* zu *D*, von *D* zu *E*, von *F* zu *G*, von *G* zu *A*, von *A* zu *H* heißt ein ganzer Ton. Man unterscheidet aber große ganze Töne, wenn das Intervall $1/8$, und kleine, wenn es $1/9$ beträgt.

Die Intervalle zwischen *E* und *F*, zwischen *H* und *c* sind nahe halb so groß wie die übrigen, sie werden deshalb halbe Töne genannt.

Wenn man, von irgend einem der anderen Töne ausgehend, in derselben Ordnung von Intervallen fortschreitet, so erhält man auf diese Weise die verschiedenen Durtonleitern; um aber ein Fortschreiten in derselben Ordnung von Intervallen von jedem Tone aus möglich zu machen, müssen noch zwischen *C* und *D*, *F* und *G*, *G* und *H* halbe Töne eingeschaltet werden, die mit *cis*, *es*, *fis*, *gis* und *b* bezeichnet werden.

Bei den Durtonarten geht man vom Grundtone zur großen Terz und dann, um eine kleine Terz fortschreitend, zur Quint über, bei den Molltonarten hingegen ist der Accord durch den Grundton, die kleine Terz und die Quint gebildet.

Eine nähere Besprechung der Tonarten und Tonleitern gehört mehr in die Theorie der Musik als hierher.

Wenn der Grundton eine Schwingung in einer bestimmten Zeit macht, so muß die große Terz in derselben Zeit $5/4$, die große Terz dieses Tones $5/4 \cdot 5/4$ oder $25/16$, und die Terz dieses Tones endlich $5/4 \cdot 5/4 \cdot 5/4$ oder $125/64$ Schwingungen machen. Der letztere Ton stimmt nun nicht genau mit der Octav des Grundtons überein, welcher $128/64$ entsprechen; wenn man also in reinen Terzen fortschreitet, so kommt man nicht zur reinen Octav, und will man die Reinheit der Octaven erhalten, so muß man von der vollkommenen Reinheit der Terzen abstrahiren. Aehnliches ergiebt sich beim Fortschreiten nach reinen Quinten. Man ist deshalb, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, genöthigt, in der Musik die

Töne etwas höher oder tiefer zu stimmen, als es die reinen Terzen oder Quinten verlangen; man muß, wie es die Musiker sagen, den Ton etwas oberhalb oder unterhalb schweben lassen. Diese Ausgleichung nennt man die Temperatur. Die nähere Besprechung der verschiedenen Arten der Temperatur würde uns hier zu weit führen.

Wenn unser Ohr empfindlicher wäre, so würde es durch die erwähnte Unreinheit der Terzen und Quinten unangenehm afficirt werden, es würde kaum ein musikalischer Genuß möglich seyn.

Nach den Bezeichnungen, welche wir in diesen Paragraphen kennen gelernt haben, können wir nun auch die verschiedenen Töne näher bezeichnen, welche eine und dieselbe Röhre giebt. Bei einer offenen Röhre nämlich ist der zweite Ton die Octave des Grundtons, bei einer gedeckten Pfeife ist er die Quinte der nächst höheren Octav.

Der tiefste Ton, welcher in der Musik zur Anwendung kommt, ist derjenige, welchen eine gedeckte Pfeife von 16 Fuß giebt. Nun wissen wir aber, daß, wenn eine gedeckte Pfeife ihren tiefsten Ton giebt, ihre Wellenlänge gerade $^1/_4$ der Wellenlänge dieses Tons ist, die Wellenlänge für diesen Ton ist demnach in gewöhnlicher Luft 64 Fuß.

In einer Sekunde pflanzt sich der Schall um 1050′ fort; dividirt man diese Zahl durch 64, so findet man, um wieviel Wellenlängen dieser tiefste Ton in einer Sekunde fortschreite oder, was dasselbe ist, wieviel Oscillationen in einer Sekunde nöthig sind, um diesen tiefsten Ton der Musik hervorzubringen; man findet die Zahl 16,4.

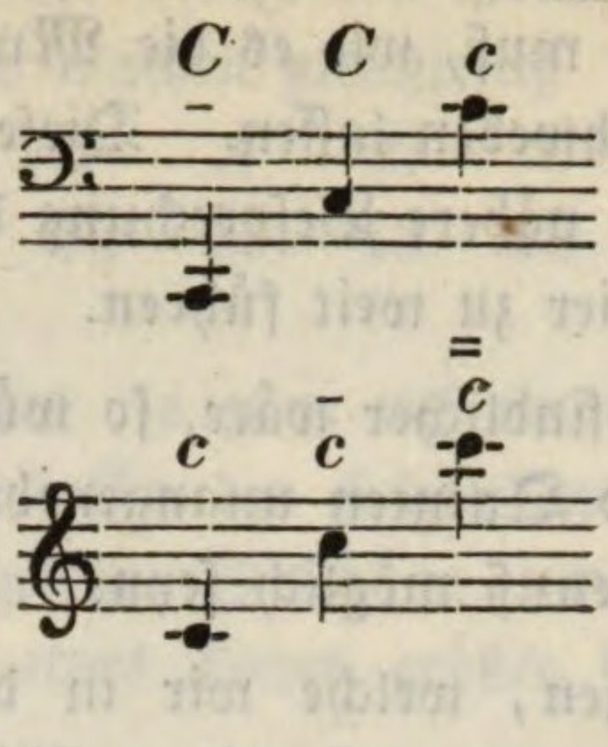
Ebenso findet man, wieviel Oscillationen in der Sekunde die Luft in einer gedeckten Pfeife macht, wenn sie ihren tiefsten Ton giebt, indem man mit der vierfachen Länge der Pfeife (in pariser Fußen ausgedrückt) in 1050 dividirt.

Im Ganzen umfaßt die Musik 9 Octaven. Der erwähnte tiefste Ton einer 16füßigen gedeckten Pfeife wird mit $\underline{\underline{C}}$ bezeichnet.

Da dieser Ton nun 16,5 Schwingungen in der Sekunde macht, so ist Folgendes die Schwingungszahl der auf einander folgenden Octaven dieses Tons:

$\underline{\underline{C}}$	16,5
$\underline{C}$	33
C	66
c	132
$\underline{c}$	264
$\underline{\underline{c}}$	528.

Mit unseren Noten werden diese Töne folgendermaßen bezeichnet:



Vom Licht.

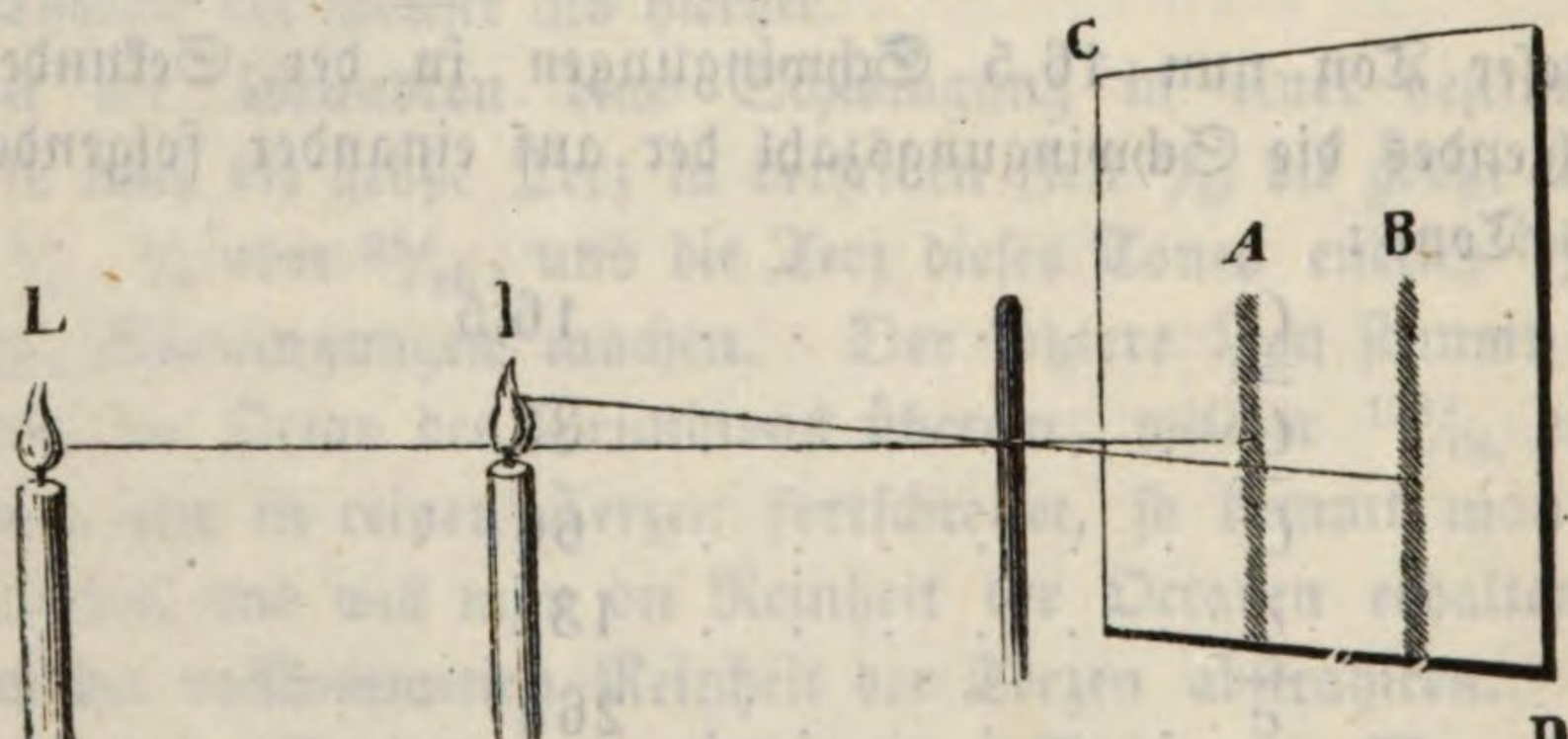
Der vom Lichte handelnde Abschnitt wurde schon bei der ersten Auflage so durchgearbeitet, daß in den folgenden Ausgaben keine bedeutenden Veränderungen nöthig waren, und zwar um so weniger, da jetzt gerade in der Lehre vom Licht wenig Neues publicirt wird, wir haben hier also auch nur wenig nachzutragen.

Photometer.

Auf den in Nro. 350 Seite 96 ausgesprochenen Satz, daß die Intensität der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung von der Lichtquelle steht, gründen sich alle diejenigen Vorrichtungen, welche man zur Vergleichung der Lichtstärke verschiedener Lichtquellen anwendet, und welche man Photometer nennt.

In Fig. 157 stelle *CD* eine weiße Wand dar. Nahe vor derselben ist

Fig. 157.

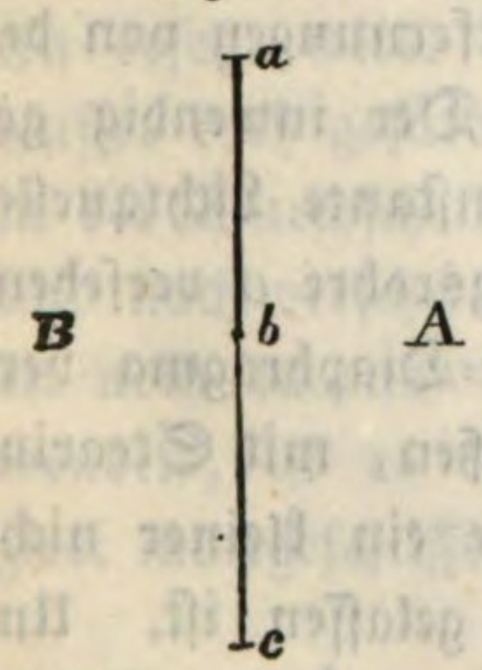


ein undurchsichtiges Stäbchen, etwas dicker als ein Bleistift, aufgestellt; wenn sich nun ein Licht in *l*, ein anderes in *L* befindet, so werden auf der Wand zwei Schatten des Stäbchens entstehen, der eine in *A*, der andere in *B*. Derjenige Theil der Wand, auf welchem sich kein Schatten befindet, ist von beiden Lichtern beschienen, der Schatten *A* ist nur durch das Licht *L*, *B* nur durch *l* beleuchtet. Wenn nun beide Lichtquellen vollkommen gleich sind, so werden die beiden Schatten gleich dunkel erscheinen, wenn sich die beiden Lichter in gleicher Entfernung befinden. Wenn aber bei gleicher Entfernung die Lichtquelle *L* stärker leuchtet, so wird der Schatten *B* dunkler erscheinen als *A*, und um die beiden Schatten wieder gleich zu machen, müßte man *L* weiter vom Schirme entfernen. Nehmen wir an, man hätte *L* wirklich so weit zurückgerückt, daß beide Schatten wieder gleich sind, so verhält sich die Lichtstärke der beiden Flammen wie das Quadrat ihrer Entfernung vom Schirme; wäre also *L* 2mal, 3mal so weit vom Schirme entfernt als *l*, so wäre die Intensität der Lichtquelle *L* 4mal, 9mal so groß als die von *l*.

Bunsen's Photometer.

Das Princip dieses Photometers beruht auf dem Umstande, daß eine ungleich transparente Fläche nur dann von homogener Helligkeit erscheint, wenn sie von beiden Seiten Lichtmengen von gleicher Intensität empfängt, daß dagegen der durchscheinende Theil gegen den weniger durchscheinenden sich dem Auge an der Seite dunkler darstellt, wo die Intensität des sie beleuchtenden Lichtes überwiegt. Wird z. B. ein Blatt starkes Zeichenpapier, welches von *a* bis *b* Fig. 158 mit Stearinsäure getränkt ist, von beiden Seiten durch zwei Lichtquellen *A* und *B* gleich stark erleuchtet, so erscheint der getränkte und nicht getränkte Theil von gleicher Helligkeit und beide lassen sich nicht durch das Auge von einander unterscheiden. Die Ursache dieser Erscheinung ist leicht verständlich; denn faßt man z. B. die von *B* aus erleuchtete Fläche in's Auge, so sieht man sogleich, daß sie (der Einfachheit wegen von parallelen Strahlen erhellet gedacht) auf allen Punkten eine gleiche Lichtmenge empfängt, die theils zurückgeworfen, theils je nach dem Grade der Transparenz hindurchgelassen wird. Denkt man sich nun zunächst die Lichtquelle *A* hinweg, so wird die Papierfläche, trotz der gleichen auf sie von *B* aus auffallenden Lichtmenge, nicht homogen, sondern bei *ab* dunkel und bei *bc* hell erscheinen, weil bei *ab* mehr Licht durch das transparentere Papier verloren geht als bei *bc*. Denkt man sich dagegen das

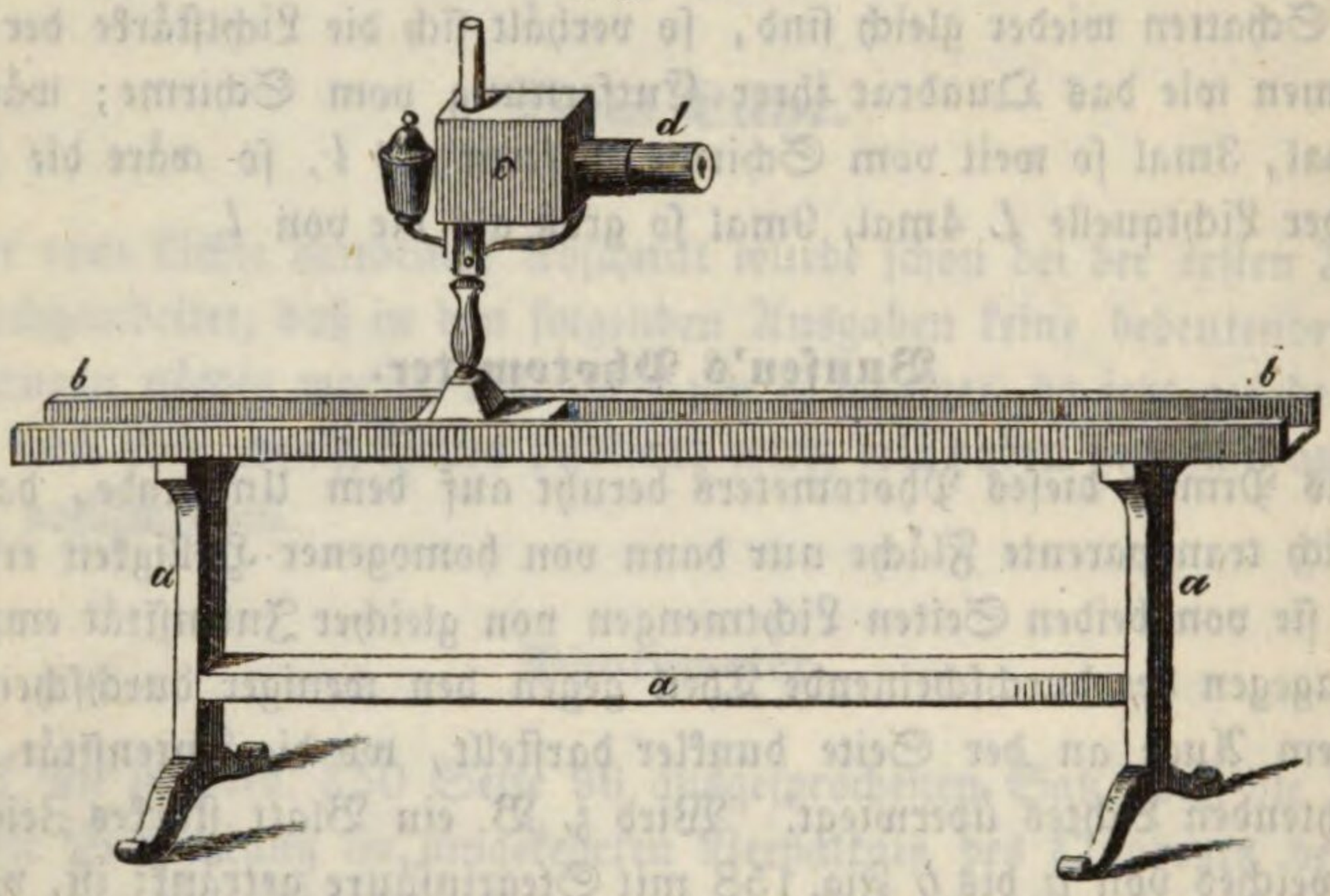
Fig. 158.



Papier von der Seite *A* her gleich stark beleuchtet, so muß der Verlust an Helligkeit, welchen die *B* zugekehrte Seite des Papiers erleidet, durch das von *A* her durchgelassene an Intensität äquivalente Licht genau compensirt werden und die Papierfläche gleich hell erscheinen, wie ungleich ihre Transparenz bei *ab* und *bc* auch seyn mag. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt sich beweisen, daß, wenn von *A* her intensiveres Licht auffällt als von *B*, das transparentere Papierstück *ab* von *B* gesehen heller, und umgekehrt, wenn von *A* her weniger Licht kommt als von *B*, dunkler erscheinen muß als *bc*.

Die Einrichtung des auf dies Princip gegründeten Photometers ist folgende: *a a*, Fig. 159, ist ein hölzernes Gestell, welches die am Rande

Fig. 159.



mit einer Maaßeintheilung versehene Rinne *bb* trägt, in der der Photometerkasten *c* sich so verschiebt, daß er in beliebige Entfernungen von der zu untersuchenden Lichtquelle gebracht werden kann. Der inwendig geschwärzte Photometerkasten *c* enthält eine möglichst constante Lichtquelle, etwa eine Argand'sche Lampe, und ist mit einem Auszugsrohre *d* versehen, dessen äußere Oeffnung durch ein transparentes Papier-Diaphragma verschlossen ist. Dieses Diaphragma besteht in einem weißen, mit Stearinsäure getränkten Zeichenpapier, in dessen Mittelpunkte ein kleiner nicht getränkter Ring von dem Umfange einer Erbse frei gelassen ist. Um dies zu bewerkstelligen, legt man das Papier auf eine erwärmte Platte und reibt geschmolzene Stearinsäure (von einem Stearinlichte) in immer engeren Kreisen mit dem Finger darauf umher, bis noch eine kleine ungetränkte Kreisfläche übrig bleibt. Legt man in den Mittelpunkt dieser Kreisfläche ein Körnchen Stearin, während das Papier auf der heißen Unterlage liegt, so gelangt man leicht dahin, einen kleinen regelmäßigen

ungetränkten Ring auf den gleichmäßig vom Stearin durchdrungenen Papiere herzustellen.

Betrachtet man das Diaphragma, während es durch eine möglichst constante Lichtquelle im Inneren des Kastens erhellet ist, von einem dunkeln Raume aus, so erscheint der ungetränkte Ring des Papiers schwarz auf weißem Grunde. Bringt man ein Licht vor das Diaphragma, so wird der dunkle Ring in dem Maße heller, als ihm das Licht näher und näher rückt, bis er in einer gewissen Entfernung völlig verschwindet, und bei noch größerer Näherung des Lichtes hell auf dunklerem Grunde wieder zum Vorschein kommt. Die Durchgangsphase, wo der Ring verschwindet, läßt sich daher sehr scharf bestimmen. Hat man den Photometerkasten der zu untersuchenden Lichtquelle so weit genähert, daß man den Ring auf dem Diaphragma nicht unterscheiden kann, daß er also weder heller noch dunkler erscheint, als der Grund, so erhält man das umgekehrte Intensitätsverhältniß der zu vergleichenden Lichtquellen, d. h. der im Kasten und derjenigen, welche von Außen her das Diaphragma bescheint, wenn man die Entfernung derselben vom Diaphragma mißt und auf's Quadrat erhebt.

Um die Intensität etwas verschieden gefärbten Lichtes zu vergleichen, reicht es hin, das Instrument weniger empfindlich zu machen, d. h. den Unterschied der Transparenz durch Anwendung eines dickeren Papieres zu verringern. Die Wirkung, welche dadurch erreicht wird, ist leicht ersichtlich. Denn denkt man sich z. B. die vordere Fläche durch röthliches Licht, die hintere aber durch weißes erhellet, so wird an den transparentesten Theilen stets eine größere Menge durchgelassenes rothes Licht durch weißes von der anderen Seite her ersetzt, während der weniger transparente Theil weniger rothes Licht hindurchläßt, was durch weißes von hinten ersetzt wird. Der transparentere Theil erscheint daher stets etwas blasser roth gefärbt als der andere. Verringert man aber den Unterschied in der Durchscheinheit, so wird der Farbenunterschied für das Auge nach und nach verschwindend, während man den Uebergang von Hell in Dunkel noch deutlich wahrnehmen kann. Statt ein stärkeres Papier anzuwenden, ist es in solchen Fällen noch besser, das Diaphragma zwischen zwei mattgeschliffene Glasplatten zu bringen.

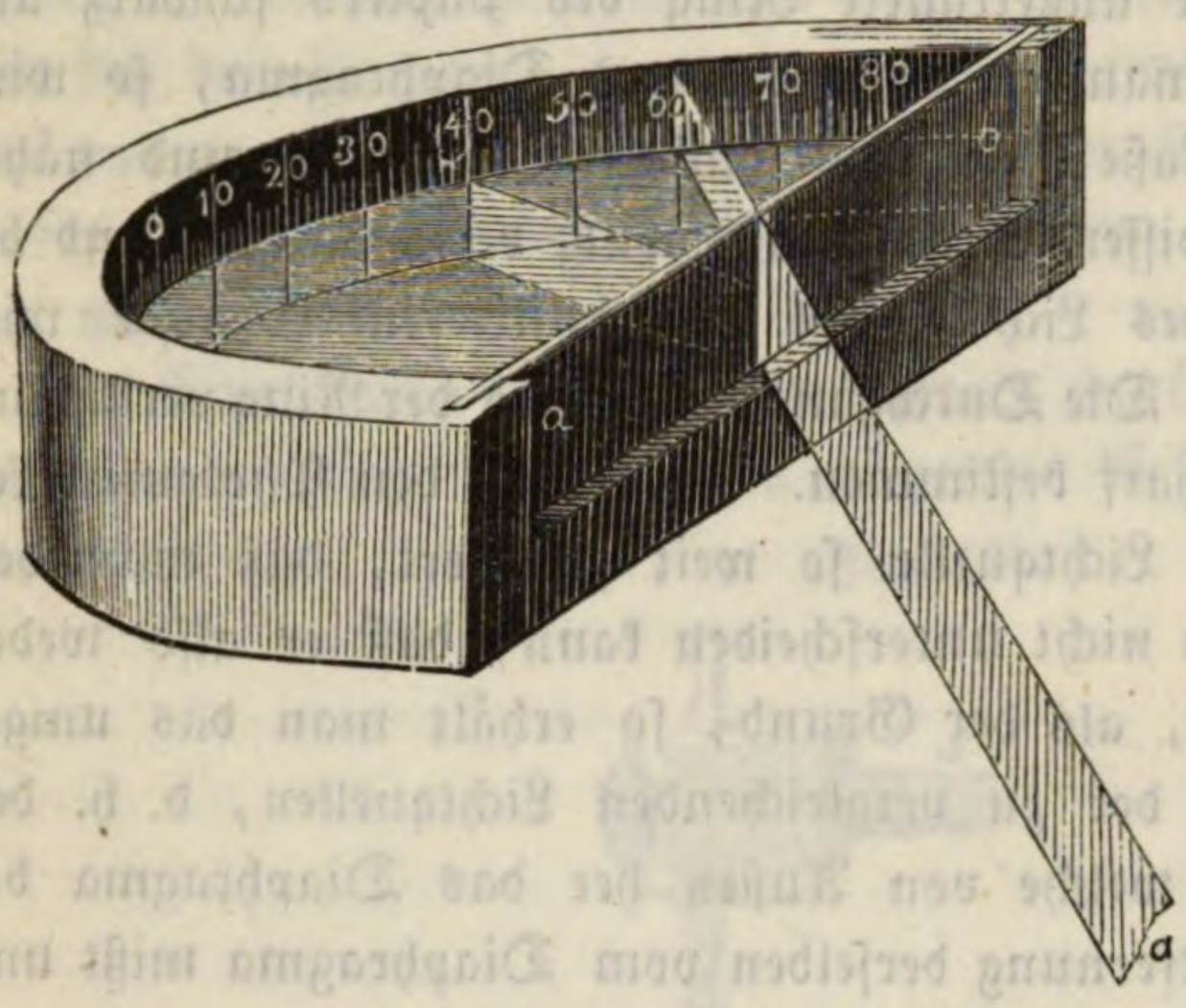
Apparat zur Demonstration des Brechungsgesetzes.

Um das Brechungsgesetz durch den Versuch zu begründen, ist der Apparat Fig. 160 sehr geeignet.

Ein zwei bis drei Zoll hohes Gefäß ist auf der einen Seite durch eine ebene Glasfläche *a b*, außerdem aber durch eine halbkreisförmige vertikale

Wand begränzt Die Glasfläche ist bis auf eine in ihrer Mitte befindliche Spalte von ½ bis 1 Linie Breite mit undurchsichtigem Papier zugeklebt oder angestrichen; die halbkreisförmige Rückwand ist im Inneren mit einer Gradtheilung versehen, deren Nullpunkt der Spalte gerade gegenüber liegt.

Fig. 160.



Dies Gefäß wird nun ungefähr bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt.

Bringt man nun ein Kerzenlicht in einiger Entfernung gerade vor den Spalt, so werden die durch denselben einfallenden Lichtstrahlen gerade den Nullpunkt der Theilung treffen. Bringt man aber das Licht auf die Seite, so werden die Lichtstrahlen, welche durch die Spalte in das Gefäß eindringen, im oberen und unteren Theile nicht an derselben Stelle die Rückenwand treffen. Der Theil des Lichtbündels, welcher im oberen Theile des Spaltes eindringt, setzt seinen Weg in gerader Linie fort, während die untere Hälfte des Lichtbündels beim Eintritt in das Wasser eine andere Richtung erhält und also auch an einer anderen Stelle die Rückwand trifft.

Nehmen wir an, man habe die Lichtquelle so weit auf die Seite gerückt, daß das durch die obere Hälfte des Spaltes einfallende Licht gerade den Theilstrich 60 trifft, wie dies in unserer Figur dargestellt ist, so wird der untere Theil des Lichtbündels bei seinem Eintritt in das Wasser nach einem Punkte der Rückwand abgelenkt, welcher $40\frac{1}{2}^0$ weit vom Nullpunkt absteht.

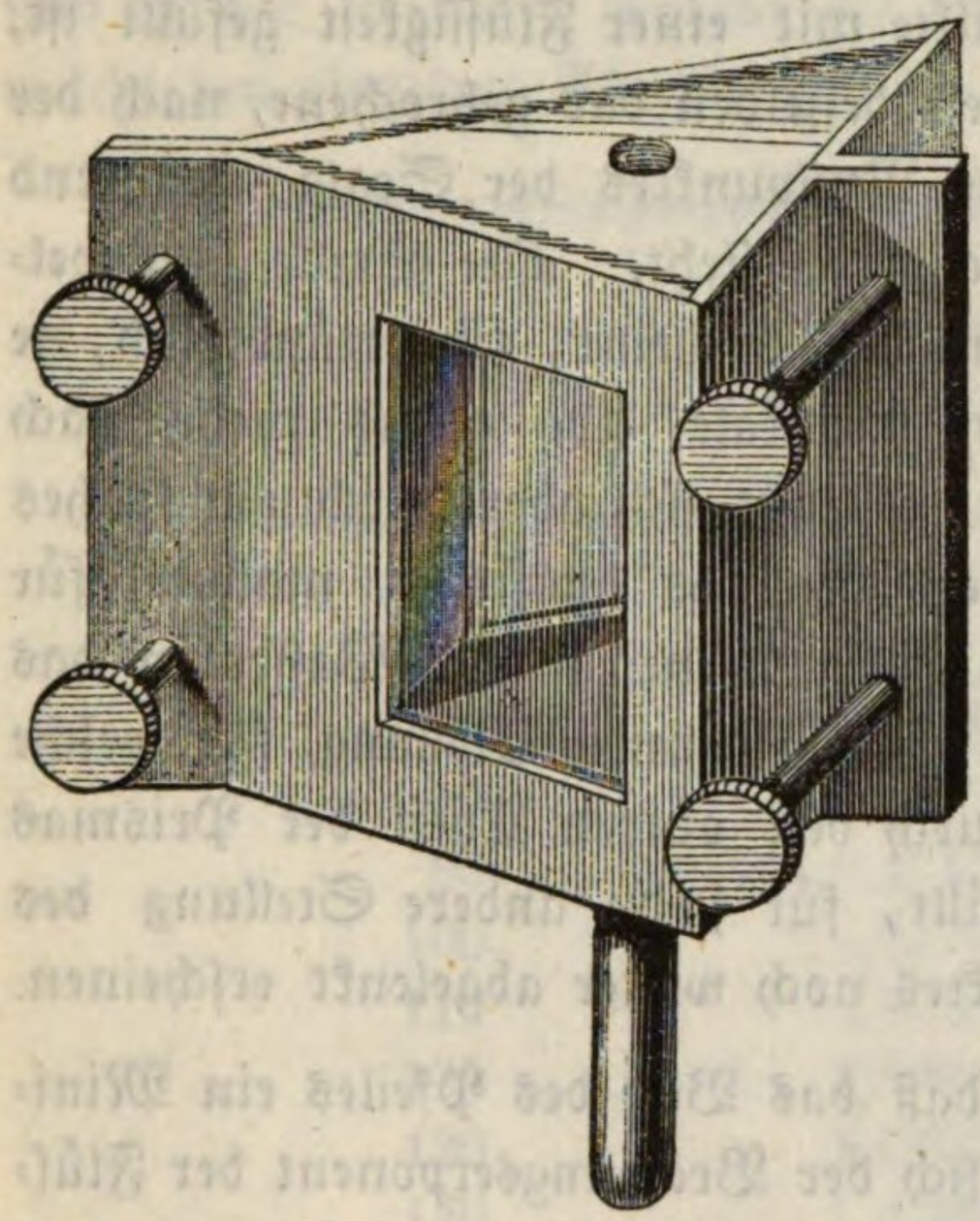
Hätte das Licht so gestanden, daß durch die obere Hälfte des Spaltes der Theilstrich 30 beleuchtet worden wäre, so würde das im Wasser gebrochene Lichtbündel bei 22^0 die Rückwand getroffen haben.

Wäre das Licht durch die obere Hälfte des Spaltes, also stets in gerader Richtung fortgehend, auf 15^0 gefallen, so würde gleichzeitig der gebrochene Stahl auf $11\frac{1}{4}$ gefallen seyn u. s. w.

Bestimmung des Brechungsexponenten flüssiger Körper mit Hülfe von Hohlprismen.

Eine zweckmäßige Form des Hohlprismas ist durch Fig. 161 dargestellt. Ein dreiseitiges Prisma von Messing (besser wäre Glas, damit man auch Säuren einfüllen kann) ist durchbohrt, wie man aus der Fig. 161 ersieht.

Fig. 161.

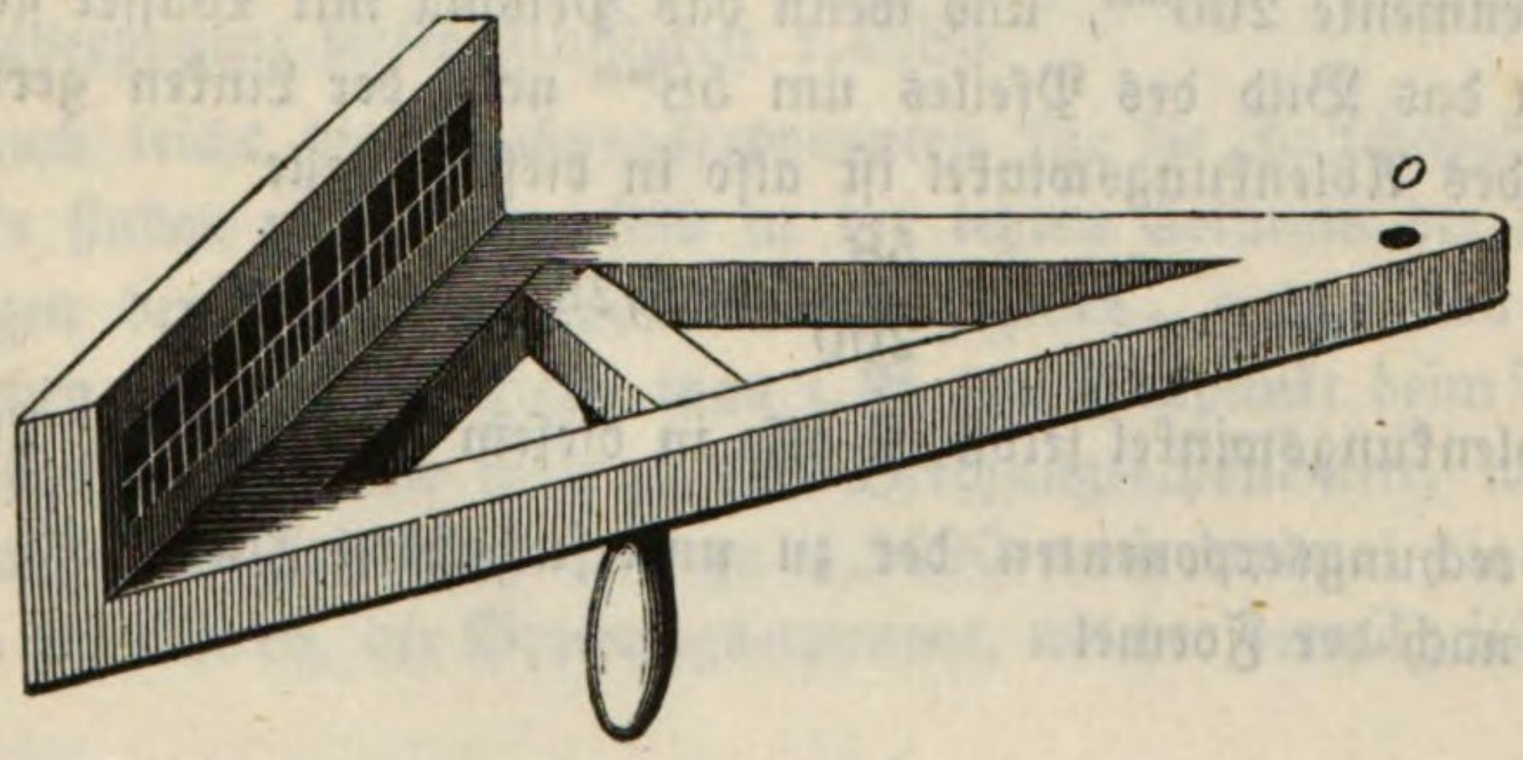


Die Oeffnung ist entweder viereckig, wie sie die Figur zeigt, oder sie ist rund; letzteres ist für kleinere Prismen besser. Auf den beiden Seiten, welche die brechenden Flächen des Prismas bilden, sind Platten von Spiegelglas aufgelegt, welche durch Hülsen von Messingblech mit Hülfe von 4 Schrauben auf die Flächen des Hohlprismas aufgepreßt werden. Oben ist eine Oeffnung, durch welche die Flüssigkeit eingefüllt und welche selbst durch einen Stöpsel verschlossen werden kann. An kleineren Prismen ist an jeder Seite nur eine Schraube angebracht.

Das oben angegebene Messungsverfahren, durch welches das Minimum der Ablenkung eines Prismas ermittelt wird, giebt den Werth des Ablenkungswinkels mit großer Genauigkeit; in vielen Fällen aber, in welchen es genügt, den Brechungsexponenten bis auf zwei, vielleicht auch drei Decimalstellen genau zu haben, ist dies Verfahren doch etwas umständlich und es erfordert doch auch schon ziemlich kostbare Apparate.

In solchen Fällen läßt sich der Apparat Fig. 162 mit Vortheil an-

Fig. 162.



wenden. Er besteht aus einem hölzernen Dreiecke, an welchem unten ein Griff befestigt ist, so daß man es wie einen Spiegelsextanten bequem horizontal halten kann. An einer Seite des rechten Winkels steht ein Brettchen vertikal, und auf diesem befindet sich eine Theilung. Bei *o* befindet sich ein Loch, und ein von demselben auf das vertikale Brettchen gefälltes Perpendikel trifft den Nullpunkt der Theilung. In dieses Loch wird nun das Prisma eingesetzt; für Flüssigkeiten ein kleines Hohlprisma von der Art wie Fig. 161.

Wenn das Hohlprisma bis zur Hälfte mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, so erblickt man durch den unteren Theil desselben das gebrochene, nach der linken Seite hin verschobene Bild des Nullpunktes der Scala, während man durch den oberen Theil die Scala direct sieht. Die Stelle, an welcher das gebrochene Bild des Nullpunktes erscheint, ist veränderlich, je nachdem man das Prisma um seine vertikale Axe etwas mehr nach der einen oder der andern Seite dreht, es läßt sich aber durch ein solches Drehen stets leicht eine Stellung des Prismas ausfindig machen, für welche die Ablenkung ein Minimum ist. Wenn z. B. Wasser in das Prisma gefüllt worden ist, so giebt es eine bestimmte Stellung, für welche das Bild des Nullpunktes mit dem durch den oberen Theil der Prismas gesehenen 58. Theilstriche zusammenfällt, für jede andere Stellung des Prismas wird das Bild des Nullpunktes noch weiter abgelenkt erscheinen.

Wenn das Prisma so gestellt ist, daß das Bild des Pfeiles ein Minimum von Ablenkung erfährt, so läßt sich der Brechungserponent der Flüssigkeit im Prisma leicht aus dem beobachteten Ablenkungswinkel und dem brechenden Winkel des Prismas berechnen.

Der brechende Winkel des Prismas ist für unser Instrument 45^{o}.

Der Ablenkungswinkel ergiebt sich aus der Beobachtung des Theilstriches, mit welchem das Bild des Nullpunktes zusammenfällt; man hat nämlich nur die Zahl dieses Theilstriches durch die Entfernung des Prismas von der Scala zu dividiren, um die Tangente des Ablenkungswinkels zu finden. Die Entfernung des Prismas von der Scala beträgt in unserm Instrumente 200^{mm}, und wenn das Prisma mit Wasser gefüllt ist, so erscheint das Bild des Pfeiles um 58^{mm} nach der Linken gerückt, die Tangente des Ablenkungswinkel ist also in diesem Falle

$$\frac{58}{200} = 0{,}29.$$

Der Ablenkungswinkel selbst ist also in diesem Fall $16^{o}\ 10'\ 20''$.

Den Brechungsexponenten der zu untersuchenden Flüssigkeit berechnet man nun nach der Formel

$$n = \frac{\sin. \frac{D+g}{2}}{\sin. \frac{g}{2}},$$

in welcher g den brechenden Winkel des Primas und D das Minimum des Ablenkungswinkels bezeichnet; für unser Instrument ist $g = 45$ und bei dem eben besprochenen Beispiele $D = 16^0\ 10'\ 20''$.

Um die jedesmalige Berechnung der Brechungsexponenten zu ersparen, sind in der folgenden Tabelle die Brechungsexponenten zusammengestellt, welche den einzelnen Theilstrichen der Scala von 10 zu 10 entsprechen:

Scalentheile.	Entsprechende Brechungsexponenten.	Differenzen der Brechungsexponenten für einen Scalentheil.
50	1,2875	0,00525
60	1,3400	0,00504
70	1,3904	0,00481
80	1,4385	0,00459
90	1,4844	0,00435
100	1,5279	0,00411
110	1,5690	0,00385
120	1,6081	0,00368
130	1,6449	0,00347
140	1,6796	0,00325
150	1,7121	0,00309
160	1,7430	0,00292
170	1,7715	0,00270
180	1,7985	0,00255
190	1,8250	0,00232
200	1,8572	

Erschiene z. B. für eine bestimmte Flüssigkeit beim Minimum der Ablenkung das Bild des Nullpunktes beim Theilstriche 80, so wäre der Brechungsexponent dieser Flüssigkeit 1,4385.

Um auch leicht die Brechungsexponenten für die Zwischenabtheilungen der Scala finden zu können, sind in der letzten Columne der Tabelle die Differenzen der Brechungsexponenten angegeben, welche den einzelnen Theilstrichen entsprechen. Hätte man z. B. den Nullpunkt beim Theilstriche 113 beobachtet, so hätte man zu dem Brechungsexponenten, welcher dem Theilstriche 110 entspricht, also zu 1,5690 noch dreimal die Differenz 0,00385 zu addiren, der Brechungsexponent, welcher dem Theilstriche 113

entspricht, ist also $1{,}5690 + 0{,}00385 \times 3 = 1{,}5690 + 0{,}01155 = 1{,}58055$.

Da der Brechungsexponent für verschiedene Farben nicht gleich ist, so muß man, um genaue Resultate zu erhalten, den Brechungsexponenten für irgend eine bestimmte Farbe ermitteln, und dies geschieht am besten, wenn man durch farbige, etwa durch rothe, Gläser beobachtet.

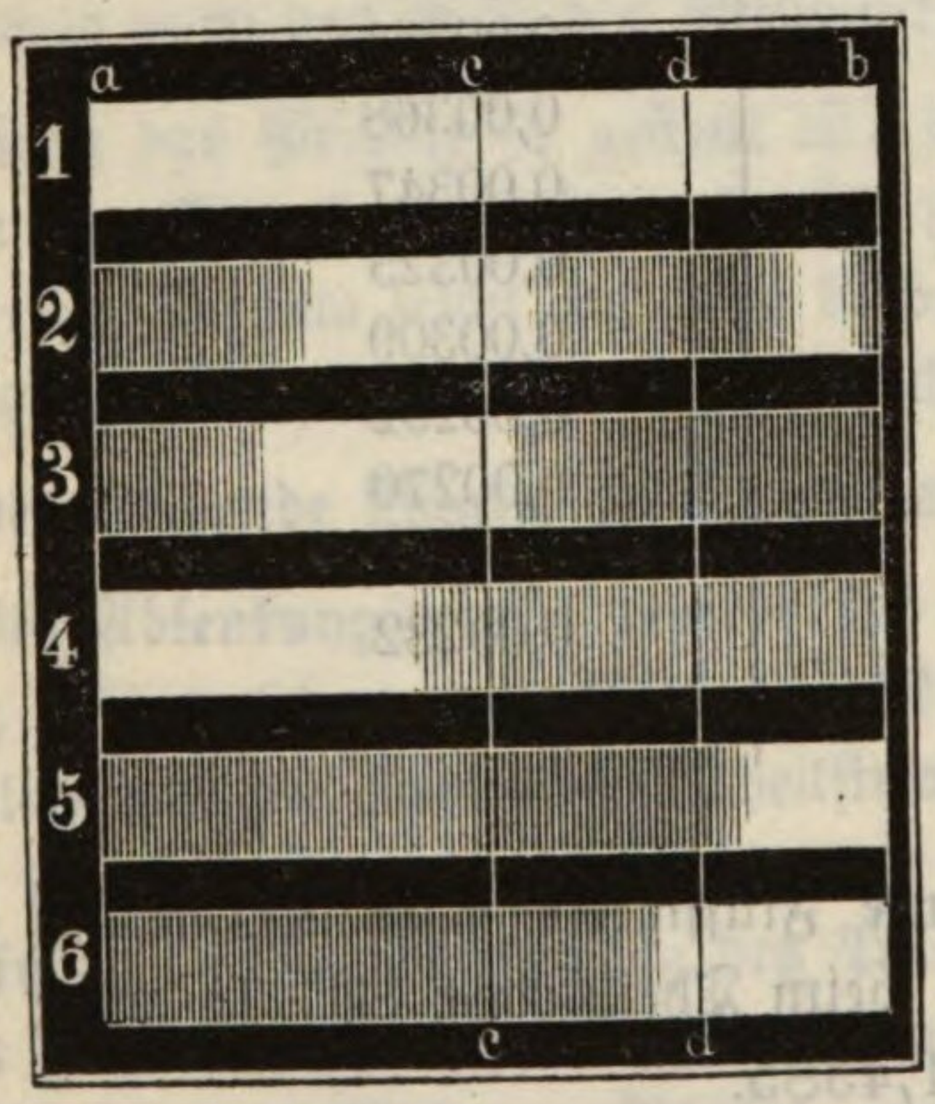
Prismatische Zerlegung der Farben durchsichtiger Körper.

Sehr schön lassen sich die Farben durchsichtiger Körper mittelst des Prismas analysiren; man lasse durch eine schmale Spalte ein Bündel Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer fallen und fange dasselbe durch ein Flintglasprisma auf, so wird man auf einem Papierschirm ein schönes Farbenspectrum erhalten. Stellt man nun zwischen die Spalte und das Prisma den durchsichtigen farbigen Körper, so wird eine Absorption eintreten und ein größerer oder geringerer Theil des Spectrums erscheint nun ausgelöscht.

Um farbige Flüssigkeiten zu untersuchen, bringt man sie in ein durch zwei parallele Glaswände begrenztes Gefäß.

In Fig. 163 stellt der oberste weiße Streifen das Spectrum eines Flintglasprismas dar; bei *a* ist das violette, bei *b* ist das rothe Ende. Zwischen *c* und *d* liegt das Grün; also rechts von *d* Gelb, Orange und Roth, links von *c* Blau, Indigo und Violett. Läßt man nun die Lichtstrahlen, bevor sie auf das Prisma fallen, durch eine bis auf einen gewissen Grad verdünnte Auflösung von Indigo gehen, so erscheint das Spectrum, wie in Nr. 2; man sieht nun einen schmalen rothen Streifen und einen breiteren von der Gränze zwischen Blau und Grün nach den beiden Seiten sich erstreckend, es ist also absorbirt: das violette Ende, ein Theil des Grün, Gelb, Orange und ein Theil des Roth. Berliner Blau in Oxalsäure aufgelöst, Nr. 3, läßt nur Blau und etwas Grün durch; schwefelsaures Kupferoxydammoniak, Nr. 4, absorbirt Grün, Gelb, Orange und Roth; Karmin in Salmiak gelöst, Nr. 5, läßt nur Roth, etwas Orange durch, saures chromsaures Kali nur Roth, Orange, Gelb und etwas Grün.

Fig. 163.

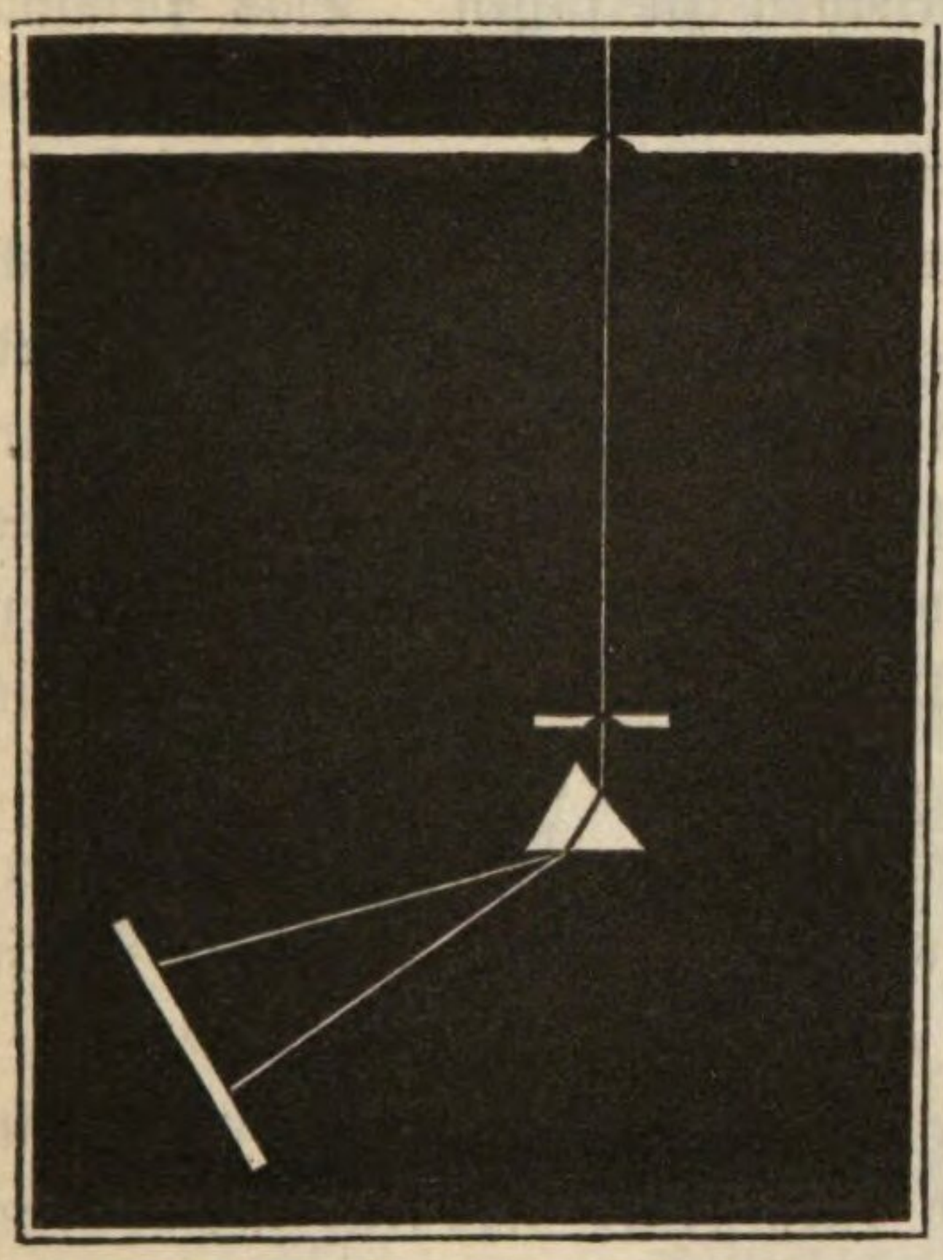


Mit fortschreitender Verdünnung der Lösung erweitern sich die hellen Stellen, so daß auch die absorbirten Parthien mehr und mehr hell werden.

Fraunhofer'sche Linien auf einem Papierschirm.

Auch auf einem Schirme, auf welchem man das Spectrum auffängt, kann man Streifen sichtbar machen. Man lasse durch eine etwa $^1/_2$ Millimeter breite Spalte einen durch den Spiegel des Heliostaten reflectirten Sonnenstrahl in das dunkle Zimmer fallen und stelle das Prisma 6 bis 10 Schritt weit von der Spalte auf, so wird man leicht ein schönes Spectrum erhalten, und kann dasselbe auf einem Schirme von halbdurchsichtigem Papiere, Durchzeichenpapier, auffangen. Hier sieht man nun noch keine dunkle Streifen, es werden jedoch deren mehrere sichtbar, sobald man eine zweite Spalte, die aber etwas weiter seyn kann, unmittelbar vor dem Prisma aufstellt. Das ganze Arrangement dieses Versuchs ist durch Fig. 164 dargestellt.

Fig. 164.



Weit schöner wird das Spectrum, wenn man die zweite Spalte wegläßt und eine Linse von $^1/_2$ bis 1 Meter Brennweite hinter dem Prisma aufstellt. Bei gehöriger Entfernung des Schirms sind nun die Fraunhofer'schen Linien viel schärfer und deutlicher.

Prismatische Zerlegung der Farben krystallisirter Plättchen.

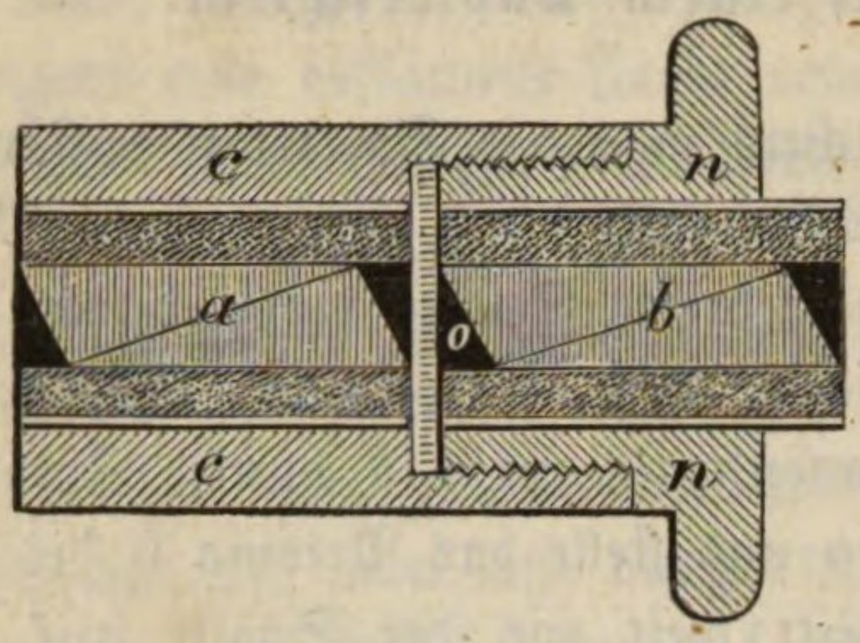
Daß die Farben der Gypsblättchen wirklich so zusammengesetzt sind, wie es die Theorie Seite 316 angiebt, läßt sich dadurch zeigen, daß man sie mit dem Prisma analysirt; dazu ist besonders folgende Methode geeignet.

Man stelle ein Prisma sammt Linse so auf, wie es zur Erzeugung der Fraunhofer'schen Linien auf einem Schirme nöthig ist, nur kann die Spalte etwas weiter geöffnet seyn; wenn man ein schönes Spectrum auf dem Schirme hat, so stellt man dicht hinter der Spalte ein zwischen zwei Nicol'schen Prismen befindliches Gypsblättchen auf.

Das Gypsblättchen muß zwischen zwei runde Glasplatten gekittet seyn;

um es bequem aufstellen zu können, muß es mit den beiden Nicol'schen Prismen in eine geeignete Holzfassung eingesetzt werden.

Fig. 165.



Eine solche zweckmäßige Fassung ist in Fig. 165 dargestellt. Das Nicol'sche Prisma *a* ist in einen Kork und dieser wieder in eine Messinghülse gesteckt; es ist dies die gewöhnliche Art, die Nicol'schen Prismen zu fassen. Das Prisma ist nun sammt seiner Fassung in einem hohlen Holzcylinder gesteckt, welcher auf der einen Seite noch vorragt und innen mit einem Schraubengewinde versehen ist; hier wird das zwischen zwei Glasplatten gekittete Gypsblättchen *o* eingelegt und dann im zweiten hohlen Holzcylinder *n* eingeschraubt, in welchem ein zweites Nicol'sches Prisma *b* steckt. Das Gypsblättchen muß in der gehörigen Lage gegen die Polarisationsebene des Prismas *a* eingelegt werden; das zweite Prisma *b* ist in seiner hölzernen Hülse leicht drehbar.

Den ganzen Apparat kann man in einen mit einem Stiele versehenen Holzring stecken, der auf ein geeignetes Statif paßt. Auf diese Weise kann man ihn leicht am gehörigen Orte aufstellen.

Fig. 166.

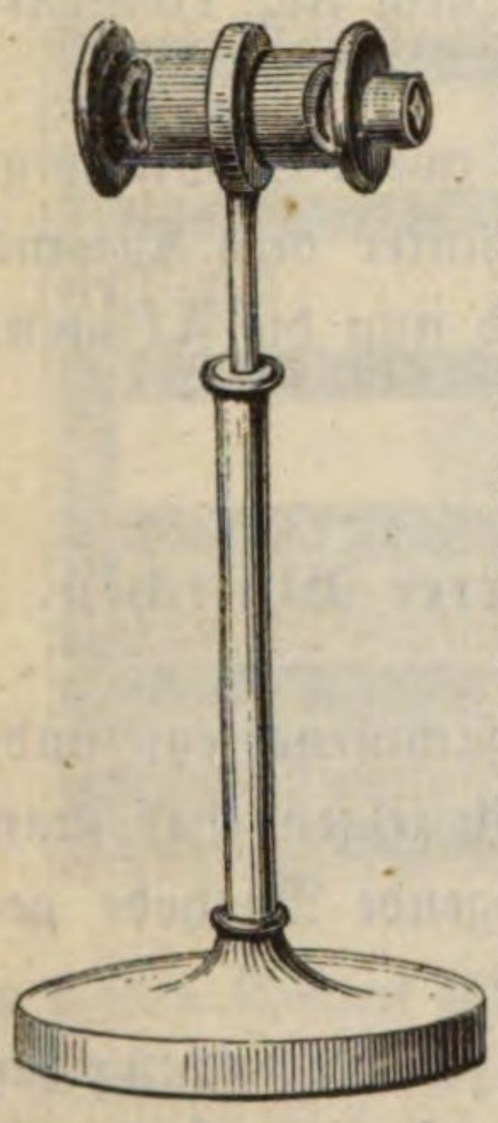


Fig. 166 stellt die ganze Vorrichtung sammt ihrem Statif dar; der hier dargestellte Apparat weicht von dem in Fig. 165 im Durchschnitte gezeichneten nur dadurch ab, daß die mittlere Hülse auf jeder Seite eine Vorragung hat, in welche man eine Hülse mit einem Nicol'schen Prisma einschrauben kann, während dies in dem Apparat Fig. 165 nur auf der einen Seite der Fall ist. Man kann auf diese Weise das Licht, welches durch zwei Nicol'sche Prismen in ein dazwischenliegendes Gypsblättchen gegangen ist, durch ein zweites Gypsblättchen und dann abermals durch ein Nicol'sches Prisma leiten.

Sind die beiden Nicol'schen Prismen gekreuzt und ist in ein Gypsblättchen eingelegt, welches violett (dunkelpurpur) der zweiten Ordnung zeigt, so erscheint ein dunkler Streifen im Gelb des Spectrums, ist das Gypsblättchen roth der dritten Ordnung, so erscheint ein dunkler Streifen im Blau, für grün vierter Ordnung ein dunkler Streifen im Blau und ein zweiter an der Gränze zwischen Roth und Orange.

Je dicker die Gypsblättchen sind, um so mehr dunkle Streifen erschei-

nen im Spectrum, zugleich aber wird die Farbe der Blättchen immer unscheinbarer; ein Blättchen, welches drei dunkle Streifen zeigt, ist schon fast ganz weiß. Wenn die Gypsblättchen dick genug sind, so ist die Zahl der Streifen sehr groß und die Streifen selbst sind alsdann sehr fein.

Zweiter Theil der Wärmelehre.

Latente Wärme.

Fig. 167.

Die beim Erstarren frei werdende Wärme läßt sich sehr schön mit unterschwefligsaurem Natron in folgender, von Böttger angegebener Weise zeigen. — Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 167, welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Wasser fassen kann und welches einen etwas weiten Hals hat, mit gestoßenem krystallisirten unterschwefligsauren Natron ganz voll. Bei vorsichtigem Erhitzen schmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45°R. in seinem Krystallwasser, und bei fortgesetztem Erwärmen bringt man das geschmolzene Salz endlich zum Sieden. Ist dies erreicht, so verschließt man das Kölbchen rasch mit einem guten Kork und stellt es behufs der langsamen Abkühlung auf einen schlechten Wärmeleiter. Nach 1 bis 2 Stunden ist das Kölbchen sammt seinem Inhalt bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, ohne daß ein Erstarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erschütterungen geschützt hat; wenn man aber nun den Kork vorsichtig wegnimmt und die Kugel eines Thermometers bis unter den Spiegel der Flüssigkeit eintaucht, so geht die Krystallisation durch die ganze Masse auf einmal vor sich und dabei steigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Dasselbe Kölbchen mit geschmolzenem unterschwefligsauren Natron läßt sich immer wieder zu demselben Versuche anwenden.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Müller, Johann Heinrich Jacob,

Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie in zwei Bänden

Bd.: [2,1]

Braunschweig 1848
Phys.g. 358 m-3
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10131798-6